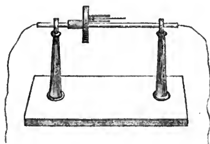



BIBLIOTECA NAZIONALE VITT. EMANUELE
252
3 H
48

Leitfaden

für den

Unterricht in der Physik.





Von

Albert Trappe,

Oberlehrer an der Realschule zu Breslau.



Mit 193 in den Text gedruckten Abbildungen.

Breslau,

Ferdinand Hirt's Verlag.

1853.

Vorwort.

Wenn der Schulunterricht überhaupt nicht blos den Schüler mit einem gewissen Quantum positiver Kenntnisse bereichern, sondern auch dessen Geisteskräfte wecken und entwickeln soll, so muß in jedem einzelnen Unterrichtsgegenstande dieses doppelte Ziel erstrebt werden. Durch den Unterricht in der Physik soll der Schüler einmal die wichtigsten Naturerscheinungen und die Gesetze, welche sich aus denselben ergeben, kennen lernen; dann soll er aber auch geübt werden, die Naturerscheinungen genau zu beobachten, aus einer Gruppe gleichartiger Erscheinungen das Naturgesetz zu finden, und umgekehrt, die einzelne Erscheinung dem betreffenden Gesetze unterzuordnen; endlich soll er, wie in jedem andern Unterrichtsgegenstande, geübt werden, sich logisch und sprachlich richtig auszudrücken, mündlich wie schriftlich.

Diesen Gesichtspunkt habe ich bei Bearbeitung des vorliegenden Leitfadens festgehalten und mich bemüht, ihn so einzurichten, daß der Schüler durch denselben im Aneignen positiver Kenntnisse unterstützt werde, und Gelegenheit und Anregung erhalte, seine geistige Kraft zu üben.

Damit das Buch nicht zu voluminös werde, wodurch das Repetiren erschwert werden würde, habe ich nur so viel Material aufgenommen, als in der Schule bearbeitet und zwar gründlich bearbeitet werden kann. Dabei ist mir die Zeit, welche an unserer Anstalt dem physikalischen Unterrichte gewidmet ist, und der geistige Standpunkt unserer Schüler maßgebend gewesen. Ich habe daher Alles, dessen wissenschaftliche Begründung zu viel Zeit erfordern, oder die Kräfte der Schüler übersteigen würde, ausgeschlossen; nur einige wenige Gesetze habe ich, von diesem Grundsatze abweichend, historisch angeführt, solche nämlich, welche mir zu wichtig oder zu interessant schienen, um sie ganz zu übergehen. Für die übrigen Gesetze habe ich die schwierigeren Entwickelungen vollständig gegeben, damit der Schüler nicht Fehler in sein Heft bekomme und sich dann etwas Falsches einlerne; die leichteren habe ich nur angedeutet oder ganz dem Schüler überlassen, damit derselbe sich in der schriftlichen Darstellung übe. Zur Bestätigung der Gesetze sind meist nur einige wenige Erscheinungen angeführt, um ihm nicht die Gelegenheit zu nehmen, selbst solche aufzusuchen. Die Hauptgesetze, von denen ich glaube, daß sie wörtlich auswendig gelernt werden müssen, habe ich mich bestrebt, möglichst präcis zu fassen; sie sind mit hervortretender Schrift gedruckt, und zur Unterstützung des Gedächtnisses gruppenweise zusammengestellt und numerirt.

Am naturgemäßesten ist es, beim Unterrichte erst die Erscheinungen vorzuführen, und dann die Gesetze aus ihnen zu entwickeln; doch kann das, wie mir scheint, nicht in allen Fällen geschehen, weil oft gar zu viele Erscheinungen dazu gehören, um mit Sicherheit das Gesetz daraus zu erkennen; und dann ist es oft wohl auch aus andern Rücksichten zweckmäßiger, erst das Gesetz a priori zu entwickeln, und dann

die Erscheinungen folgen zu lassen, so z. B. beim freien Falle, bei dem Hohlspiegel, den Linsen und dergl. Welcher von beiden Wegen in jedem einzelnen Falle einzuschlagen ist, muß dem Ermessen des Lehrers überlassen bleiben. Es ist daher, wohl kein Fehler des Leitfadens, wenn darin nicht consequent der eine der beiden Wege festgehaten ist. Ebenso habe ich bei Anordnung des Stoffes mehr darnach gestrebt, das Einzelne so auf einander folgen zu lassen, wie es den pädagogischen Rücksichten genügt, und wie sich am naturgemäßesten Eines nach dem Andern entwickeln läßt, als darnach, daß die Aufeinanderfolge allen Regeln der Systematik entspreche. Die Aufgabe, aus dem Material der Physik ein dem Inhalte nach vollkommen logisch geordnetes Gebände aufzuführen, ist ja überhaupt bis jetzt, ebenso wie bei der Planimetrie und auch aus einem ähnlichen Grunde noch eine ungelöste. So habe ich z. B. die Hindernisse der Bewegung gleich hinter die allgemeinen Bewegungsgesetze gestellt, weil der Schüler bei jeder einzelnen Untersuchung über Bewegung immer wieder die Frage aufwirft: Wie wird nun das entwickelte Gesetz durch die Hindernisse der Bewegung modificirt? Ebenso habe ich den Uebergang der flüssigen Körper in den luftförmigen Zustand in Sieden und Verdunsten gesondert, und erst nachher die Uebereinstimmung der beiden Erscheinungen nachgewiesen, weil ich glaube, daß auf diese Weise der Schüler leichter zum klaren Verständnisse derselben gelange.

Die Anwendungen der physikalischen Gesetze auf das practische Leben habe ich meist an das Ende der einzelnen Capitel verwiesen, um den Faden der sich an einander reihenden Erscheinungen und Gesetze nicht zu unterbrechen. Daß die Tabellen nicht zum Einlernen gegeben sind, brauche ich wohl nicht erst zu erwähnen.

Was die Abbildungen betrifft, so sollen dieselben den Lehrer nicht des Vorzeichnens an der Tafel überheben; denn soll der Schüler zum klaren Verständniß des Dargestellten gelangen, so muß er die Figur entstehen sehen. Wohl aber sollen dieselben den Schülern das Zeichnen ersparen; denn viele derselben verwenden bei Ausarbeitung des Heftes mehr Zeit auf die Figuren, als auf die Ausarbeitung, weil ihnen das Zeichnen bequemer und angenehmer ist, als das Denken. Außerdem sind aber die Figuren ein nothwendiges Merkzeichen zum Behalten der Gesetze und der Erscheinungen. In den Abbildungen der Instrumente ist alles Unwesentliche weggelassen, weil dieses die Aufmerksamkeit von dem Wesentlichen ablenkt und dem Verständniß hinderlich ist. Für Instrumente, welche jedes physikalische Cabinet besitzen muß, und welche so oft gebraucht werden, daß sie der Schüler dadurch vollständig kennen lernt, z. B. für die Electrisirmaschine, sind gar keine Abbildungen gegeben.

So übergebe ich denn das Buch der Beurtheilung meiner geehrten Collegen mit der Bitte, über den Mängeln, an denen dasselbe leidet, und die ich recht wohl kenne, das Gute, was vielleicht an ihm ist, nicht ganz zu übersehen.

Breslau, im März 1853.

Der Verfasser.

Uebersicht des Inhalts.

I.

Erster Abschnitt.

Zweiter Abschnitt.

Ruhe und Bewegung der Körper.

Dritter Abschnitt.

Der Schall.

Vierter Abschnitt.

Das Licht.

Fünfter Abschnitt.

Die Wärme.

Sechster Abschnitt.

Magnetismus, Electricität, Galvanismus.

II.

Erster Abschnitt.

Allgemeine Eigenschaften der Materie und Wirkungen der Massentheilchen auf einander.

§ 1. **Erklärung.** Alles, was einen Raum einnimmt (erfüllt), heißt **Materie**. Begrenzte Materie heißt **Körper**. Materie, Körper, Undurchdringlichkeit.

In dem Satze: „Eisen rostet leicht", ist Eisen als Materie gedacht; in dem Satze aber: „das Eisen an jener Lanze ist zu schwer", als Körper.

Jeder Körper füllt den Raum so aus, daß an dem Orte, an welchem er ist, nicht zugleich ein anderer sein kann. Man nennt daher die Körper **undurchdringlich**.

Auch Wasser und Luft sind undurchdringlich; denn in ein unten verschlossenes, cylinderförmiges Gefäß (Fig. 1.), welches mit Luft oder Wasser gefüllt ist, läßt sich ein genau passender Kolben nicht bis auf den Boden drücken. Die Taucherglocke. Ein Glas, umgekehrt in ein Gefäß mit Wasser getaucht, bleibt inwendig trocken.

Fig. 1.



Erklärung. Der Raum, den ein Körper einnimmt, heißt sein **Volumen** und die Menge der Materie, die den Raum erfüllt, seine **Masse**.

Porosität.

§ 2. Von den meisten Körpern läßt sich nachweisen, daß sie den Raum nicht continuirlich erfüllen, sondern daß es in ihrem Innern Räume giebt, die nicht mit ihrer Materie erfüllt sind. — Poren. —

Holz in Wasser getaucht, nimmt eine Menge desselben auf. Taucht man Marmor in Oel und zerbricht ihn dann, so sieht man, daß das Oel eingedrungen ist. Metallene Röhren, in denen sich Wasser befindet, welches einem großen Drucke ausgesetzt ist, z. B. die Verbindungsröhre in der hydraulischen Presse, überziehen sich mit feinen, dem Thau ähnlichen Tröpfchen. Aus einem Gefäße mit Wasser steigen Luftblasen auf, wenn man es unter den Recipienten der Luftpumpe stellt.

Theilbarkeit. § 3. Jeder Körper kann in Stücke zerlegt, getheilt werden. Man nennt daher die Körper **theilbar**. Aber diese Theilung läßt sich nicht bis in's Unendliche fortsetzen; man gelangt endlich auf Theile, die nicht mehr theilbar sind. Diese nennt man **Atome** des Körpers.

Bei manchen Körpern geht die Theilung ungemein weit, z. B. bei riechenden Substanzen. Die geringste Quantität Moschus erfüllt mit ihren Theilchen ein Zimmer jahrelang. Der Geruch des auf den Küsten der Provence wachsenden Rosmarins verbreitet sich 20 bis 30 Meilen weit über die See. Ein Loth Gold läßt sich zu einem Draht von 140 deutschen Meilen Länge ziehen.

Cohäsion, Aggregatszustand. § 4. Die Zertheilung erfordert bei manchen Körpern die Anwendung einer gewissen Kraft. Wir nennen diese Körper **fest** und schreiben den Zusammenhang ihrer Theile der Anziehung der einzelnen Atome des Körpers zu. Diese Anziehung heißt **Cohäsion**.

Ein Körper ist also desto fester, je mehr Kraft erforderlich ist, seine Theile von einander zu trennen. Zerbricht man einen Körper und setzt ihn dann wieder zusammen, so ziehen sich die Theile nicht wieder so fest an, als vorher; warum? Worin besteht das Leimen, Kitten?

Bei andern Körpern ist eine gewisse Kraft nöthig, ihre Theile zusammen zu halten; sie bestreben sich stets, einen größern Raum einzunehmen. Wir nennen sie **luftförmig** und nehmen als Ursache dieses Bestrebens gegenseitige Abstoßung ihrer Atome an. Das Bestreben, einen immer größern Raum einzunehmen, nennt man **Expansion**.

Der über kochendem Wasser sich sammelnde Dampf hebt den Deckel des Topfes auf. Wenn man eine zum Theil mit Luft gefüllte Blase in einen luftverdünnten Raum bringt, so bläht sie sich auf und platzt wohl gar.

Gäbe es nun Körper, deren Atome sich weder anzögen, noch abstießen, so wären diese **absolut flüssig**. Solche Körper giebt es jedoch nicht; denn diejenigen, welche wir flüssig nennen, zeigen immer noch einen geringeren oder größeren Zusammenhang ihrer Theile, wie daraus hervorgeht, daß sie Tropfen bilden.

Je größer der Zusammenhang der Theile noch ist, desto größere Tropfen bilden sich. Syrup, Oel, Wasser, Weingeist, Aether zeigen einen verschiedenen Grad von Flüssigkeit.

Diese drei Formen, unter denen die Körper erscheinen, heißen **Aggregatsformen**. Viele Körper lassen sich in allen 3 Aggregatsformen darstellen.

Wasser, Fett, Quecksilber, Blei.

Modificationen der Cohäsion. Die Cohäsion läßt sich bei manchen Körpern dadurch verstärken, daß ihre Theile näher an einander gerückt werden, z. B. durch Hämmern, Pressen.

Leder und Eisen werden durch Hämmern fester, Papier durch Pressen.

Viele Körper haben in verschiedenen Richtungen ihrer Ausdehnung einen verschiedenen Grad von Cohäsion.

Holz, Fischbein.

Auf der Cohäsion beruhen die Eigenschaften: hart, weich, — zähe, spröde, — elastisch, unelastisch.

Hart nennt man einen Körper, der schwer Eindrücke auf seine Oberfläche annimmt; zähe den Körper, dessen Theile sich ziemlich weit aus ihrer Lage bringen lassen, ohne sich von einander zu trennen; elastisch ist ein Körper, wenn seine Theile, aus ihrer Lage gebracht, wieder in dieselbe zurückkehren.

Stahl, Elfenbein sind hart und spröde. Ein Körper ist härter als ein anderer, wenn er diesen ritzt. Der Diamant ist der härteste Körper. Glas ist hart, spröde und elastisch, ebenso Elfenbein. Gummi ist zähe und elastisch.

§ 5. Nicht bloß die einzelnen Theile eines festen oder flüssigen Körpers ziehen sich gegenseitig an, sondern auch 2 verschiedene Körper, wenn sie einander berühren, und zwar um so stärker, in je mehr Punkten die Berührung stattfindet. Diese Art der Anziehung heißt Adhäsion. Die Adhäsion zeigt sich zwischen Körpern aller Aggregatsformen. Ihre Stärke ist bei verschiedenen Materien verschieden. Adhäsion

Adhäsionsplatten. Der Staub hängt sich an die Decke. Das Schreiben mit Bleistift, Kreide u. dergl., ebenso das Naßwerden eines in Wasser oder Oel getauchten Körpers, das Hinunterfließen des Wassers am Rande des Glases, wenn man es ausgießt. Zwei Tropfen Wasser auf Wachsleinwand vereinigen sich zu einem, ebenso zwei Tropfen Quecksilber auf Holz. Die Luft adhärirt an den Wänden der Barometerröhre so stark, daß sie nur durch Kochen des Quecksilbers ausgetrieben werden kann.

Eine besondere Betrachtung verdient die Adhäsion zwischen festen und flüssigen Körpern. zwischen festen und flüssigen Körpern.

Wird ein fester Körper in eine Flüssigkeit getaucht, so wird er entweder ganz von ihr benetzt, oder es bleiben nur geringe Spuren derselben an ihm hängen.

(Adhäsion findet also in beiden Fällen statt.)

Ob die eine oder die andere Erscheinung eintritt, hängt von der Materie des festen und des flüssigen Körpers und von der Oberfläche des ersteren ab.

Taucht man einen Holzstab in Wasser, so wird er ganz naß, taucht man aber ein Talg- oder ein Wachslicht in Wasser, so bleiben nur einzelne Tropfen daran hängen. Noch kleinere Tröpfchen bleiben an einem Glasstabe hängen, wenn man ihn in Quecksilber taucht. Ein Talglicht, in Oel getaucht, überzieht sich ganz mit diesem. Polirte Körper werden vom Wasser nicht benetzt.

Als Ursache der ersteren Erscheinung nehmen wir an, daß die Adhäsion zwischen beiden Körpern größer ist, als die Cohäsion der Flüssigkeitstheilchen, als Ursache der zweiten das entgegengesetzte Verhalten der beiden Materien. Hieraus lassen sich folgende Erscheinungen erklären:

1) Wird auf die horizontale Oberfläche eines Körpers ein Tropfen einer den Körper netzenden Flüssigkeit gethan, so fließt er auseinander; ein Tropfen einer den Körper nicht netzenden Flüssigkeit behält mehr oder weniger seine Kugelgestalt. Warum?

Wassertropfen auf Glas fließen auseinander, ebenso Oeltropfen auf Wachsleinwand; dagegen bilden Quecksilbertropfen auf dem Tische, Wassertropfen auf einer mit semen lycopodii bestreuten Fläche kleine Kugeln. Drückt man Wassertropfen auf Wachsleinwand mit dem Finger auseinander, so sieht man, wie sich die Wassertheilchen wieder zusammenziehen.

2) Jede Flüssigkeit bildet in einem Gefäße, dessen Wände von ihr benetzt werden, am Rande eine concave, in einem Gefäße, dessen Wände nicht benetzt werden, eine convexe Fläche. Warum?

— Beispiele. —

Capillar-Attraction. 3) Wird ein ganz enges Röhrchen (Haarröhrchen, Capillarröhrchen) in eine es netzende Flüssigkeit getaucht, so steigt diese in ihm etwas über das Niveau derselben; ist die Flüssigkeit eine die Röhre nicht netzende, so findet die entgegengesetzte Erscheinung statt. — Erklärung. —

Auf der Haarröhrchen-Anziehung (Capillar-Attraction) beruhen folgende Erscheinungen: Das Einziehen der Flüssigkeiten in Schwamm, Löschpapier, des Wassers in Sand, Erde, Mauern, in Zucker, des Oeles in den Docht, das Entstehen und Größerwerden der Fettflecke in wollenem Zeuge. In trocknes Holz wird das Wasser mit solcher Kraft eingezogen, daß nicht bloß seine Theile auseinander getrieben werden (wodurch sich sein Volumen vergrößert), sondern daß durch solches aufquellendes Holz sogar Steine gesprengt werden können. Durch quellende Erbsen werden Schädel in ihre einzelnen Theile zerlegt.

Allgemeine Massen-Anziehung. § 6. Die Körper ziehen einander aber nicht blos an, wenn sie sich berühren, sondern sie üben auch aus der Ferne Anziehung auf einander aus.

Schwimmende Körper, wie Nußschaalen, Papierschnitzchen u. dergl., schwimmen nach den Wänden des Gefäßes, und zwar desto schneller, je näher sie diesen kommen; sie schwimmen auch auf einander selbst zu und hängen sich aneinader. Warum wird ein an einem Faden hängender Körper nicht merklich von der Wand angezogen? Füllt aber eine riechende Substanz mit ihren Atomen ein Zimmer, so riecht man diese am stärksten in der Nähe der Wände.

Schwere, Gewicht. Die Erde hat von allen Körpern die stärkste Anziehungskraft; und zwar zieht sie alle Körper nach ihrem Mittelpunkte hin; denn alle Körper fallen in dieser Richtung (verticale Richtung = Richtung des Erdradius), und wenn sie daran gehindert werden, so üben sie einen Druck auf die Unterlage in dieser Richtung aus. Die Anziehung der Erde heißt Schwere, und die Wirkung hiervon, nämlich der Druck jedes Körpers auf seine Unterlage, Gewicht des Körpers.

Zöge die Erde die auf ihrer Oberfläche befindlichen Körper nicht an, so würden diese durch die Achsendrehung von ihr fortgeschleudert werden, ja ihre ganze

Masse würde sich stückweise im Weltall zerstreuen. Alle Gebäude werden vertical gebaut. — Das Loth des Maurers. —

Die Erfahrung lehrt, daß, wenn zwei Körper von gleicher Substanz gleiches Volumen haben, auch ihr Gewicht gleich ist, und daß, wenn sie ungleiches Volumen haben, der größere so viel mal mehr Gewicht hat als der kleinere, so viel mal sein Volumen das des letztern übertrifft. Das Gewicht ist Maß für die Masse.

Z. B. zwei Stücke Blei, von denen jedes 1 Cubikzoll groß ist, wiegen gleich viel. Ein Stück von 3 Cubikzoll wiegt 3mal so viel als ein Stück von 1 Cubikzoll.

Hieraus folgt, daß sich die Stärke der Erdanziehung entweder nach dem Volumen oder, da bei gleichartiger Substanz von dem Volumen die Masse des Körpers abhängt, nach der Masse richtet.

Nun zeigt aber die Erfahrung, daß manche Körper von verschiedener Substanz bei **ungleichem** Volumen **gleiches** Gewicht haben.

Z. B. 1 Pfd. Kork ist größer als 1 Pfd. Blei.

Also kann vom Volumen das Gewicht nicht abhängen. Es kann daher dasselbe sich nur nach der Masse oder nach der Art der Substanz richten. Das Letztere nimmt man nicht an, sondern glaubt, das Gewicht hänge bloß von der Masse des Körpers ab, und schreibt den Körpern, die gleiches Gewicht haben, gleiche Masse zu, auch wenn das Volumen ungleich ist. Diese Ansicht werden wir später durch die Erscheinungen des freien Falles bestätigt finden.

Die Masse des Körpers wird also durch sein Gewicht bestimmt.

Ein Pfd. Kork, ein Pfd. Federn, ein Pfd. Blei haben gleiche Masse.

Erklärung. Von 2 Körpern, welche gleiches Volumen, aber ungleiche Masse haben, ist derjenige, welcher die größere Masse hat, dichter als der andere. **Dichtigkeit** eines Körpers ist das Verhältniß seines Volumens zu seiner Masse. **Specifisches Gewicht** ist das Verhältniß seines Volumens zu seinem Gewichte. Dichtigkeit, specifisches Gewicht.

Ein Körper, welcher eben so viel Volumen, aber 3mal so viel Masse hat, als ein anderer, ist 3mal so dicht als dieser; und ebenso ist auch sein specifisches Gewicht 3mal so groß, als das des letzteren.

Das specifische Gewicht eines Körpers wird also bestimmt, wenn man sein Gewicht und sein Volumen angiebt. Da aber die Angabe des Gewichts eines Körpers zugleich die Angabe seiner Masse ist, so ist die Bestimmung des specifischen Gewichts zugleich Bestimmung der Dichtigkeit.

Gewicht und Raummaaß sind in verschiedenen Ländern verschieden; daher ist es wünschenswerth, die Bestimmung des specifischen Gewichts von diesen Größen unabhängig zu machen. Das erreicht man, indem man angiebt, wie viel mal mehr der fragliche Körper wiegt, als ein gleich großes Volumen Wasser (destillirtes), dessen Dichtigkeit als überall bekannt angenommen werden kann. Dazu kommt noch, daß man, wie wir später sehen werden, diese Zahl in den meisten Fällen viel leichter finden kann, als das Volumen eines Körpers.

Man sagt also z. B.: Das specifische Gewicht eines Körpers ist = 4 und meint damit: ein Stück des Körpers wiegt 4mal so viel, als ein gleiches Volumen Wasser.

Chemische Anziehung. § 7. In vielen Fällen, wo zwei Körper sich berühren, besonders wenn einer oder beide flüssig oder luftförmig sind, vermischen sich ihre Theile so innig mit einander, daß sie bis auf die kleinsten Theile eine gleichartige Substanz bilden.

Eine solche Mischung nennt man chemische Mischung, im Gegensatz zu dem mechanischen Gemenge. Als Grund dieser Erscheinung nimmt man eine Anziehung zwischen den einzelnen Atomen der Körper an, welche man chemische Anziehung nennt.

Wirft man Zucker oder Kochsalz in Wasser, so fallen sie zu Boden; nach einiger Zeit sind aber diese Körper aufgelöst und die Flüssigkeit enthält bis zur Oberfläche Theilchen derselben. Diese müssen also, trotz dem, daß sie schwerer sind, als Wasser, in die Höhe gezogen sein. Legt man über ein zum Theil mit Wasser gefülltes Glas ein Stück Leinwand so, daß dasselbe die Wasserfläche berührt, gießt Weingeist darauf und zieht die Leinwand behutsam heraus, so schwimmt der leichtere Weingeist oben; nach einiger Zeit ist jedoch die ganze Flüssigkeit gleichartig; das Wasser muß also nach oben, der leichtere Weingeist nach unten gezogen worden sein.

Endosmose. §. 8. Wenn man einen Lampencylinder auf der einen Seite mit einer Thierblase zubindet, dann eine Lösung von Kupfervitriol hineingießt, und ihn so tief in ein Gefäß mit Wasser taucht, daß die beiden Flüssigkeiten in gleicher Höhe stehen, so steigt allmählich die Flüssigkeit im Cylinder, während sie in dem äußeren Gefäße sinkt, und das Wasser nimmt nach und nach die Farbe der Vitriollösung an. Befindet sich die Lösung im äußeren Gefäße, und das Wasser im Cylinder, so steigt die Flüssigkeit im äußeren Gefäße. Dieser Vorgang findet so lange statt, bis die Flüssigkeiten in beiden Gefäßen gleichartig sind. Es muß also ein Theil des Wassers durch die Poren der Blase nach der Vitriollösung, und ein Theil von dieser, aber ein kleinerer, in das Wasser übergehen.

Man erklärt diese Erscheinung auf folgende Weise: Zwischen Kupfervitriol und Wasser findet eine chemische Anziehung statt, also suchen sie sich zu vereinigen. Die Poren der Blase gestatten aber dem Wasser einen leichteren Durchgang, als der Vitriollösung; daher sammelt sich in dem Gefäße, in welchem die Lösung sich befindet, mehr Flüssigkeit, als in dem andern. Der Druck, den die höher stehende Flüssigkeit nach unten ausübt, und vermöge dessen sich Flüssigkeiten in Gefäßen, welche mit einander in Verbindung stehen, gleich hoch stellen, kann sich durch die Poren der Blase nicht fortpflanzen, weil diese zu klein sind.

Die Richtigkeit dieser Erklärungsweise wird durch folgende Erscheinung bestätigt: Wird eine Blase in Wasser eingeweicht, so zieht ein Theil desselben in ihre Poren ein. Nimmt man sie dann wieder heraus, und bestreut sie mit Salz,

so fließt ein Theil des eingedrungenen Wassers wieder ab, und die Blase schrumpft zusammen. Dasselbe geschieht, wenn man sie, anstatt mit Salz zu bestreuen, in Alkohol legt.

Ein eben solches Uebergehen einer Flüssigkeit zur andern findet auch statt zwischen Wasser und der Lösung irgend eines andern Salzes, zwischen Wasser und Zuckerlösung, Wasser und Weingeist u. dgl. m. Auch kann man statt das Cylinders mit der Blase ein Gefäß von ungebranntem Thon anwenden. Diesen Austausch von Flüssigkeiten durch eine poröse Scheidewand nennt man Endosmose.

Zweiter Abschnitt.

Ruhe und Bewegung der Körper.

A. Ruhe und Bewegung im Allgemeinen.

§ 9. Verändert ein Körper den Raum, den er einnimmt (seinen Ort), so sagen wir, er bewegt sich; ist das nicht der Fall, so ruht er. Man unterscheidet absolute und relative Ruhe und Bewegung. **Absolute Ruhe** oder **Bewegung** ist das Beibehalten oder Verändern des Orts im Weltraume. Relative Ruhe oder Bewegung ist das Beibehalten oder das Verändern des Ortes in Beziehung auf andere Körper. *Ruhe und Bewegung, absolute, relative.*

Wir kennen keinen Körper, der in absoluter Ruhe wäre: denn gewisse Erscheinungen machen es mehr als wahrscheinlich, daß sich selbst die Sonne und die übrigen Fixsterne im Weltraume bewegen. Bäume, Häuser u. dgl. sind in Bewegung, (absolut); aber sie sind in Ruhe in Beziehung auf andere Gegenstände der Erdoberfläche (also in relativer Ruhe).

Wir sind nur im Stande, die relative Bewegung wahrzunehmen. *Wahrnehmung derselben.*

In der Cajütte eines Schiffes bemerkt man bei ruhigem Wasser keine Bewegung desselben, selbst nicht, wenn es umgedreht wird; nur erst, wenn man durch's Fenster nach den Gegenständen am Ufer sieht, nimmt man die Bewegung wahr. Die Bewegung der Erde um ihre Achse, so wie die um die Sonne, bemerkt man nur, wenn man die Sterne beobachtet.

Bei Beobachtung der relativen Bewegung sind wir oft nicht im Stande, zu unterscheiden, welcher von den beobachteten Körpern sich bewegt und welcher ruht.

Man hat Jahrhunderte hindurch geglaubt, der Himmel drehe sich täglich um die Erde und die Sonne laufe um dieselbe. Beobachtet man von einer Brücke aus längere Zeit den Eisgang eines Flusses, so scheint sich die Brücke zu bewegen und das Eis still zu stehen. Eine Krähe, die neben einem Eisenbahnzuge herfliegt, scheint in der Luft auf derselben Stelle zu bleiben.

Was ist Kraft, Trägheit?

§ 10. Die Veränderungen, welche ein Körper in Beziehung auf Ruhe und Bewegung erleidet (aber auch alle übrigen Veränderungen, z. B. des Volumens, des Aggregatzustandes u. dgl.), schreiben wir gewissen Ursachen zu, die wir Kräfte nennen. Wir nehmen also an, daß kein Körper seinen Zustand von selbst verändert, und nennen deshalb die Körper oder die Materie träge (Trägheit, Beharrungsvermögen). Es kann demnach ein ruhender Körper nicht in Bewegung und ein sich bewegender Körper nicht in Ruhe kommen, wenn nicht eine Kraft da ist, die ihn in den andern Zustand versetzt.

Der Widerstand, welchen ein Körper der ihn bewegenden Kraft entgegensetzt, heißt sein Trägheitsmoment (siehe § 38).

Die Kugel, die von einer schiefen Ebene herunterrollt, das Wasser in den Flüssen, wird von der Erdanziehung in Bewegung gesetzt. Die Körper der Thiere, deren innere Organe, so wie die Säfte der Pflanzen erhalten ihre Bewegung von der Seele. Ist das Thier oder die Pflanze gestorben, so hört jene Bewegung auf. Jeder bewegte Körper kommt zwar, wenn die bewegende Kraft zu wirken aufhört, wieder zur Ruhe, aber die Bewegung dauert desto länger, je weniger Kräfte der Bewegung entgegenwirken. Z. B. ein Eisenbahnwagen bleibt länger in Bewegung, als ein Wagen auf einer Chaussee. Ein auf der Erde fortgerollter Stein kommt eher zur Ruhe, als ein auf eine Eisfläche geworfenes Stück Eis, und dieses wieder eher, als eine eiserne Kugel auf einer Eisfläche. Ein Rad, welches frei an seiner Achse herumgedreht wird, dreht sich desto länger, je geringer die Reibung an dieser ist. — Welche Kräfte heben die hier angeführten Bewegungen auf? Könnten wir einmal bei einem sich bewegenden Körper alle der Bewegung entgegenwirkenden Kräfte beseitigen (was wir aber nicht im Stande sind) so würde auch die Bewegung nie aufhören.

Auch das Umgekehrte ist richtig: So oft eine Kraft, sie sei auch noch so gering, auf einen Körper wirkt, so erfolgt eine Bewegung, wenn nicht eine andere Kraft ihre Wirkung wieder aufhebt.

Ein Schiff, welches mehr als 1000 Ctnr. wiegt, kann bei ruhigem Wasser und Winde von einem einzigen Manne fortgezogen werden; die schwerste Last, die frei an einem Seile hängt, kann man ohne Mühe mit einem Finger in Bewegung bringen; und doch sind hier noch entgegenwirkende Kräfte zu überwinden. — Welche? —

Ein Kind, welches in dem Zimmer eines obern Stockwerkes herumspringt, bringt die Mauern des Gebäudes oft so in Bewegung, daß die Fenster zittern.

Gleichgewicht.

In dem letztern Falle sagt man: der Körper sei im Gleichgewicht.

Da auf jeden Körper wenigstens eine Kraft, die Erdschwere, wirkt, so kann man von jedem ruhenden Körper sagen, er sei im Gleichgewicht.

§ 11. Erklärungen. 1) Kräfte, welche, einander entgegenwirkend, sich das Gleichgewicht halten, heißen gleiche Kräfte. Messung der Kräfte.

2) Eine Kraft, welche 2, 3, 4 u. s. w. gleichen Kräften das Gleichgewicht hält, ist 2, 3, 4 u. s. w. mal so groß, als jede der letzteren.

3) Die Größe einer Kraft wird gemessen vermittelst einer durch Anschauung bekannten Kraft. Z. B. 1 Pfd., 1 Ctnr., 1 Atmosphärendruck und dergl.

Eine Kraft beträgt 3 Pfd. heißt: sie zieht so stark, als ein Drei-Pfund-Gewicht an dem Faden zieht, an welchem es aufgehängt ist, oder sie drückt so stark, als das genannte Gewicht auf seine Unterlage drückt.

4) Geschwindigkeit eines Körpers ist das Verhältniß des Raumes, den ein Körper durchläuft, zu der Zeit, die er dazu gebraucht.

Zur Bestimmung der Geschwindigkeit gehört demnach eine Raum- und eine Zeitangabe. Z. B. ein Eisenbahnzug legt in einer Stunde 4 Meilen zurück. Oft drückt man die Geschwindigkeit dadurch aus, daß man den in einer Secunde zurückgelegten Raum angiebt, und nennt dann diesen Raum kurzweg die Geschwindigkeit. Man sagt z. B., die Geschwindigkeit dieses Körpers ist = 6 Fuß und versteht darunter: der Körper legt in einer Secunde 6 Fuß zurück.

5) Von einem Körper, welcher in gleichen Zeiten gleiche Räume zurücklegt, sagt man, er habe eine gleichförmige Bewegung. Arten der Bewegung.

Der Gegensatz hiervon ist ungleichförmige Bewegung. Letztere nennt man beschleunigt oder verzögert, je nachdem die Geschwindigkeit zu- oder abnimmt.

Die einzige gleichförmige Bewegung, die wir kennen, ist die Bewegung der Erde um ihre Achse. Man erstrebt bei allen Maschinen gleichförmige Bewegung. Eine beschleunigte Bewegung ist der freie Fall, so wie der Fall auf der schiefen Ebene; eine verzögerte das Aufsteigen eines senkrecht in die Höhe geworfenen Körpers.

§ 12. Setzt eine Kraft einen Körper in Bewegung, so treten wegen der Trägheit der Materie folgende zwei Erscheinungen ein: Trägheits-Erscheinungen.

1) Wirkt eine Kraft nur auf einige Theile des Körpers, so vergeht einige Zeit, ehe die ganze Masse desselben in Bewegung kommt, weil sich die Bewegung von den getroffenen Theilen auf die übrigen fortpflanzen muß; und kommen einige Theile eines sich bewegenden Körpers zur Ruhe, so vergeht einige Zeit, ehe sich die Ruhe den übrigen mittheilt.

Legt man über ein Bierglas ein Kartenblatt, auf dieses ein Geldstück, und schnellt dann ersteres mit dem Finger fort, so fällt letzteres in das Glas. Drückt man langsam mit einem Stocke gegen die Scheibe eines offenstehenden Fensters, so bewegt sich dasselbe, ohne daß die Scheibe zerbricht; sie zerbricht aber, wenn man den Stock mit größerer Geschwindigkeit bewegt; die Scheibe erhält nur ein rundes Loch, ohne daß sie zertrümmert und ohne daß sich das Fenster bewegt, wenn man eine Kugel durch die Scheibe schießt. Steht man in einem Wagen und die Pferde ziehen plötzlich an, so fällt man rückwärts; hält der Wa-

gen plötzlich an, so fällt man vorwärts. Springt man von einem fahrenden Wagen hinab, so fällt man in der Richtung, in welcher der Wagen fährt. Die auf dem Stiele locker gewordene Axt befestigt man, indem man mit ersterem gegen den Boden stößt. Der Reiter stürzt nach vorn, wenn das Pferd im schnellen Laufe plötzlich still steht.

2) Hört die bewegende Kraft auf, so behält der Körper die erlangte Geschwindigkeit und die Richtung der Bewegung ohne Aufhören bei, wenn nicht eine andere Kraft ihn daran hindert.

Wir kennen zwar keinen Fall, daß ein Körper ohne Aufhören die Richtung und die Geschwindigkeit seiner Bewegung beibehielte, wir erkennen das Gesetz aber daraus, daß ein bewegter Körper desto länger die anfängliche Richtung und Geschwindigkeit beibehält, je weniger Kräfte ihm entgegen wirken. Beispiele siehe § 10. Ein Stein, der mit der Hand geworfen wird, würde sich mit derselben Geschwindigkeit und in derselben Richtung, welche die Hand hat, in dem Augenblicke, als sie ihn losläßt, fortbewegen, wenn nicht der Luftwiderstand und die Anziehung der Erde dies hinderten. Ebenso verhält es sich mit einem abgeschossenen Pfeile. Ein Stein, welchen man aus einem Eisenbahnwagen fallen läßt, bleibt nicht zurück, sondern befindet sich, bis er die Erde trifft, senkrecht unter der Hand, die ihn hielt. Läßt man einen Stein von einem hohen Thurme herabfallen, so trifft er die Erde nicht in der von der Hand aus gezogenen Verticalen, sondern ein wenig östlich von dieser. — Ein directer Beweis für die Achsendrehung der Erde. — Wie so? —

Verhältniß der Geschwindigkeiten bei gleichen Kräften.

§ 13. 1) Gleiche Kräfte ertheilen Körpern von verschiedener Masse verschiedene Geschwindigkeit und zwar:

Bei gleichen Kräften verhalten sich die Geschwindigkeiten wie umgekehrt die Massen.

$$\frac{C}{c} = \frac{m}{M}$$

Von zwei mit gleicher Kraft geworfenen Steinen bewegt sich der schwerere langsamer. Einen schwer beladenen Wagen vermögen die Pferde nicht so schnell fortzubewegen, als einen leicht beladenen. Verschieden schwere Pfeile, mit demselben Bogen abgeschossen, bewegen sich verschieden schnell.

Eine 3 Loth schwere Kugel mit derselben Pulvermenge geschossen, als eine 1 Loth schwere, verläßt den Gewehrlauf mit einer 3mal geringeren Geschwindigkeit, als die einlöthige. Die Verschiedenheit der Wirkung rührt nicht etwa von der Verschiedenheit der Erdanziehung her; denn das Gesetz gilt, auch wenn die Erdanziehung aufgehoben ist, wie das bei allen auf einer horizontalen Fläche ruhenden Körpern der Fall ist, z. B. bei Schiffen, Eisenbahnwagen, ebenso bei Körpern, welche an einer Schnur hängen.

bei gleichen Massen.

2) Ein und dieselbe Masse erhält von verschiedenen Kräften verschiedene Geschwindigkeiten und zwar:

Bei gleichen Massen verhalten sich die Geschwindigkeiten, wie die treibenden Kräfte.

$$\frac{C}{c} = \frac{V}{v}$$

Ein Pfeil fliegt schneller, wenn er mit einem stärkeren Bogen abgeschossen wird. Ein kräftiges Pferd vermag eine Last schneller fortzuziehen, als ein schwaches. Eine Flintenkugel, welche mit 3 Loth Pulver geschossen wird, verläßt den Lauf mit 3mal so großer Geschwindigkeit, als eine eben solche Kugel, wenn man sie mit 1 Loth Pulver schießt.

Aus diesen beiden Gesetzen folgt:

3) Die Geschwindigkeiten zweier Körper verhalten sich zu einander, wie die treibenden Kräfte, dividirt durch die Massen. Bei ungleichen Kräften und Massen.

$$\frac{C}{c} = \frac{\frac{V}{M}}{\frac{v}{m}} = \frac{Vm}{vM}$$

Denn: Gesetzt 1 Loth Pulver ertheile einer einlöthigen Kugel eine Geschwindigkeit von q Fuß, so erhält eine mlöthige Kugel von 1 Loth Pulver eine Geschwindigkeit von $\frac{q}{m}$ Fuß, und von v Loth Pulver eine Geschwidingkeit von $\frac{qv}{m}$ Fuß. Ebenso erhält eine M löthige Kugel von V Loth Pulver eine Geschwindigkeit von $\frac{qV}{M}$ Fuß; folglich verhält sich die Geschwindigkeit der zweiten zu der ersten:

d. i. $$\frac{C}{c} = \frac{\frac{qV}{M}}{\frac{qv}{m}} = \frac{\frac{V}{M}}{\frac{v}{m}} = \frac{Vm}{vM}$$

§ 14. Man kann auch umgekehrt aus der Masse und der Geschwindigkeit eines Körpers auf die Größe der treibenden Kraft schließen. Die treibende Kraft muß nämlich um so größer sein, je größer die Geschwindigkeit und je größer die Masse ist, und zwar: Verhältniß der Kräfte bei

1) Bei gleichen Massen verhalten sich die Kräfte wie die Geschwindigkeiten. gleichen Massen,

$$\frac{V}{v} = \frac{C}{c}$$

Bewegt sich eine Kugel 3mal so schnell, als eine andere von gleichem Gewichte, so muß die erste auch von einer 3mal so großen Kraft getrieben worden sein, als die andere. Fährt ein Wagen doppelt so schnell, als ein anderer gleich schwerer auf demselben Wege, so läßt sich schließen, daß die Pferde des ersteren doppelt so stark ziehen, als die des anderen.

2) Bei gleichen Geschwindigkeiten verhalten sich die Kräfte, wie die Massen. bei gleichen Geschwindigkeiten.

Beispiele wie zu Nr. 1.

Bei ungleichen Massen und Geschwindigkeiten.

Aus diesen beiden Gesetzen folgt:

3) Die Kräfte verhalten sich, wie die Producte aus Masse und Geschwindigkeit.

$$\frac{V}{v} = \frac{MC}{mc}$$

Gesetzt, es seien, um einer Kugel von 1 Loth Gewicht eine Geschwindigkeit von 1 Fuß zu geben, k Loth Pulver nöthig, so würde man, um einer M löthigen Kugel dieselbe Geschwindigkeit zu ertheilen, Mk Loth Pulver nöthig haben u. s. w., wie unter Nr. 3 des vorigen Paragraphen.

Aus Nr. 3 geht hervor, daß die Zahl MC angiebt, wie viel mal die Kraft V größer ist, als diejenige Kraft, welche eine Massen-Einheit in einer Zeit-Einheit eine Längen-Einheit weit treibt. MC ist also der Zahlenwerth, der die Größe einer Kraft ausdrückt.

Quantität der Bewegung.

§ 15. Trifft ein bewegter Körper einen andern (ruhenden oder sich bewegenden), so bringt er vermöge seiner Bewegung eine gewisse Wirkung (Stoß) hervor; wir schreiben ihm daher eine inwohnende Kraft zu und nennen diese Kraft die Quantität der Bewegung.

Erklärung. Quantität der Bewegung ist die Kraft, die ein Körper vermöge seiner Bewegung besitzt. Stoß ist die Wirkung, welche ein bewegter Körper auf einen andern ausübt.

Wir schließen auch hier, wie überall, aus der Größe der Wirkung auf die Größe der Kraft. Die Wirkung eines bewegten Körpers ist aber, wie die Erfahrung lehrt, desto größer, je größer seine Geschwindigkeit und je größer seine Masse;

also:

Verhältniß derselben

Die Quantität der Bewegung ist desto größer, je größer die Masse und die Geschwindigkeit des bewegten Körpers ist und zwar:

bei gleichen Massen,

1) Die Quantitäten der Bewegung zweier Körper verhalten sich bei gleichen Massen wie die Geschwindigkeiten.

$$\frac{Q}{q} = \frac{C}{c}$$

Eine mit der Hand geworfene Kugel bringt eine viel geringere Wirkung hervor, als eine geschossene. Eine Holzaxt wirkt desto stärker, je schneller sie bewegt wird. Desgleichen ein Stock. Dieselbe Wassermenge wirkt auf ein Mühlrad desto stärker, je schneller es fließt. Ein langsam fahrender Wagen richtet, wenn er irgend wo anstößt, weniger Schaden an, als ein Wagen, welcher sehr schnell fährt. Je höher ein Körper herabfällt, desto größer ist der Stoß. Eine Kugel, welche nmal so große Geschwindigkeit hat, als eine andere gleich schwere, durchschlägt nmal so viel dünne Bretter als diese.

bei gleichen Geschwindigkeiten.

2) Die Quantiäten der Bewegung verhalten sich bei gleichen Geschwindigkeiten wie die Massen.

$$\frac{Q}{q} = \frac{M}{m}$$

Eine Kegelkugel und eine gleich große Kanonenkugel, die mit gleicher Geschwindigkeit auf einer Ebene dahinrollen, bringen verschiedene Wirkungen hervor. Ein kleines Beil und eine schwere Axt, ein leichtes Stöckchen und ein sehr schwerer Knüttel, mit derselben Geschwindigkeit geführt, bringen ganz verschiedenen Effekt hervor. Ein Stoß von einem an uns vorbeilaufenden Sackträger ist viel empfindlicher, als von einem laufenden Knaben. Bohnenstangen, welche auf einem Wagen gefahren werden, ertheilen mit ihren hinten über den Wagen hinausstehenden Enden den Vorübergehenden einen kaum merklichen Schlag, während Baustämme unter gleichen Umständen ihnen Arme und Beine zerschmettern. Warum ist man trotz aller Anstrengung nicht im Stande, einen leichten Stein eben so weit zu werfen, als einen mäßig schweren? Eine nlöthige Kugel mit derselben Geschwindigkeit als eine 1löthige geschossen, durchbohrt nmal so viel Brettchen als diese.

Aus Nr. 1 und 2 folgt:

3) Die Quantitäten der Bewegung verhalten sich wie die Producte aus Masse und Geschwindigkeit. Bei ungleichen Massen und Geschwindigkeiten.

$$\frac{Q}{q} = \frac{MC}{mc}$$

Gesetzt, eine 1löthige Kugel durchschlage bei einer Geschwindigkeit von 1 Fuß p Blatt Papier, so durchschlägt eine mlöthige Kugel bei derselben Geschwindigkeit mp Blatt Papier u. s. w. Zu beweisen wie in § 13 Nr. 3.

Hieraus geht hervor, daß die Zahl MC angiebt, wie viel mal die Quantität der Bewegung eines Körpers größer ist, als die Quantität der Bewegung desjenigen Körpers, dessen Masse eine Gewichts-Einheit und dessen Geschwindigkeit eine Längen-Einheit beträgt. Es ist also MC der Zahlenausdruck für die Quantität der Bewegung; man nennt daher auch MC kurz Quantität der Bewegung.

Da nun MC auch für die treibende Kraft der Zahlenuasdruck ist, so ist die Quantität der Bewegung gleich der treibenden Kraft. Letztere geht also gewissermaßen in den Körper, welchen sie in Bewegung setzt, über. Daraus geht hervor, daß, wenn gleiche Kräfte Körper von verschiedenen Massen in Bewegung setzen, die Quantität der Bewegung bei allen dieselbe ist.

§ 16. Wirken zwei oder mehrere Kräfte zugleich momentan auf einen Körper, so erhält derselbe wegen des Beharrungsvermögens eine geradlinige Bewegung von einer gewissen Geschwindigkeit. Diejenige Kraft, welche dem Körper dieselbe Bewegung ertheilen würde als jene Kräfte zusammen, heißt die Resultirende dieser Kräfte. Zusammensetzung der Kräfte.

1) Zwei oder mehrere Kräfte, die in derselben Richtung auf einen Körper wirken, ertheilen ihm eine Geschwindigkeit, die gleich der Summe der Geschwindigkeiten ist, welche die Kräfte, einzeln wirkend, hervorbringen würden.

Ein Schiff, welches vom Winde und vom Strome in derselben Richtung getrieben wird, legt in einer Secunde 5 Fuß zurück, wenn der Wind allein dasselbe 4 Fuß, der Strom allein 1 Fuß treiben würde.

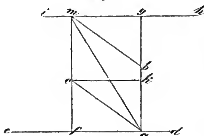
2) Wirken zwei Kräfte in entgegengesetzter Richtung auf einen Körper, so bewegt er sich in der Richtung der größeren und zwar mit der Differenz der Geschwindigkeiten, welche die beiden Kräfte einzeln erzeugen würden.

Beispiele wie in Nr. 1.

Kräfte-Parallelogramm.

3) a. Wirken 2 Kräfte unter einem Winkel auf einen Körper, so erhält man den Weg, den derselbe in einer gewissen Zeit durchläuft, wenn man aus den beiden Wegen, die er in derselben Zeit zurücklegen würde, wenn die Kräfte ihn einzeln trieben, ein Parallelogramm construirt und von dem Orte des Körpers aus eine Diagonale zieht.

Fig. 2.



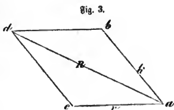
Beweis. (Fig. 2.) Von der einen Kraft werde der Körper in einer Secunde von a bis b getrieben, von der andern von a bis c. Ziehe d e senkrecht auf a b, und c f senkrecht auf d e. Nun liegt in der einen Kraft das Vermögen, den Körper um die Strecke a b, in der andern, ihn um c f von der Linie d e zu entfernen. Also beide werden ihn um eine Strecke, welche gleich a b + c f ist, von der Linie d e entfernen. Mache b g = c f und ziehe h i ‡ de, so muß der Körper nach einer Secunde in einem Punkte von h i angelangt sein. Ziehe c k senkrecht auf a g. In der Kraft, die ihn bis c treibt, liegt das Vermögen, ihn in einer Secunde um das Stück c k von der Linie a g zu entfernen, die andere Kraft entfernt ihn gar nicht von derselben. Verlängere f c bis m. Der Körper muß also nach einer Secunde in der Linie f m, deren Punkte alle um c k von a g entfernt sind, sich befinden. Da er nun sowohl in h i als in f m sein muß, so wird er in m angelangt sein; er muß also in einer Secunde den Weg a m durchlaufen haben. Verbinde b mit m, so ist a b m c ein Parallelogramm, dessen Seiten die Wege der einzelnen Kräfte, dessen Diagonale der Weg der Resultirenden ist.

Da nun die in gleichen Zeiten zurückgelegten Wege ein und desselben Körpers das Verhältniß der Geschwindigkeiten darstellen, und dieses wieder gleich dem Verhältniß der treibenden Kräfte ist, so kann man vermittelst jenes Parallelogramms auch folgende Aufgabe lösen:

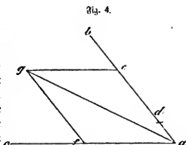
b. Für zwei unter einem Winkel wirkende Kräfte die Resultirende zu finden.

Auflösung. Man construirt 2 sich schneidende Linien, welche die Richtung und das Verhältniß der beiden gegebenen Kräfte k und v

darstellen (ab und ac), Fig. 3, bildet daraus ein Parallelogramm (abcd) und zieht die Diagonale, so giebt diese die Richtung der Resultirenden und ihr Verhältniß zu den beiden gegebenen Kräften an. Nämlich $\frac{ad}{ac} = \frac{R}{v}$ und hieraus läßt sich die Resultirende R finden. Nämlich $R = \frac{ad \cdot v}{ac}$.


Fig. 3.

Beweis. (Fig. 4.) Gesetzt, die beiden gegebenen Kräfte seien gleich q und v Pfd.; erstere wirke in der Richtung ab, letztere in der Richtung ac; eine Kraft von 1 Pfd. treibe einen beliebigen Körper in einer beliebigen Zeit von a bis d, so wird eine Kraft von q Pfd. in derselben Zeit ihn q solche Strecken treiben, etwa bis c, und eine Kraft von v Pfd. v solche Strecken, etwa bis f. ac und af sind also die Wege, die der Körper in ein und derselben Zeit zurücklegen würde, wenn ihn die Kräfte einzeln trieben. Die Aufgabe ist jetzt auf die vorige zurückgeführt. Zieht man daher eg ‡ af, fg ‡ ac, so ist ag der Weg, welchen der Körper, von der Resultirenden getrieben, zurücklegt. So viel mal nun ad in ag enthalten ist, so viel Pfd. beträgt die Resultirende.


Fig. 4.

Erklärung. Jenes Parallelogramm wird das Parallelogramm der Kräfte genannt; die beiden gegebenen Kräfte heißen die Seitenkräfte, die Resultirende heißt Mittelkraft.

c. Durch das Parallelogramm der Kräfte läßt sich ferner für mehr als 2 in verschiedener Richtung wirkende Kräfte die Resultirende finden.

Auflösung. Man sucht für die erste und zweite Kraft die Resultirende, dann für diese und die dritte Kraft die Resultirende, dann wieder für diese und die vierte Kraft u. s. w.

Erklärung. Für zwei oder mehr Kräfte die Resultirende finden, heißt Kräfte zusammensetzen,

Endlich läßt sich durch das Kräfteparallelogramm die Aufgabe lösen:

d. Eine Kraft in zwei oder mehrere andere zu zerlegen, d. h. für eine gegebene Kraft zwei oder mehrere andere zu finden, welche dieselbe Wirkung hervorbringen, als die gegebene. Zerlegung der Kräfte.

Auflösung. Construire eine Linie von beliebiger Länge, welche die Richtung der gegebenen Kraft angiebt; und dann ein Parallelogramm, von welchem die construirte Linie die Diagonale ist, so geben die Seiten

die Richtung der beiden zu findenden Kräfte und ihr Verhältniß zur gegebenen Kraft an.

Die Auflösung besteht also in der Construction eines Parallelogramms, von dem die Diagonale gegeben ist, und diese reducirt sich auf die Construction eines Dreiecks, von welchem eine Seite gegeben ist. Ist aber bloß eine Seite eines Dreiecks gegeben, so können noch zwei Stücke desselben willkürlich angenommen werden.

Daraus geht hervor: Soll eine Kraft in zwei andere zerlegt werden, so kann man entweder:

1) Die Größe der beiden Seitenkräfte beliebig annehmen, und dann ihre Richtung finden;

(Nur darf ihre Summe nicht kleiner sein als die gegebene Kraft.)

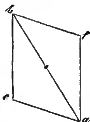
oder 2) Die Richtung der Seitenkräfte beliebig annehmen und ihre Größe finden;

oder 3) Die Richtung und Größe der einen Seitenkraft beliebig annehmen, und die Größe und Richtung der andern bestimmen;

oder 4) Die Größe der einen und die Richtung der andern beliebig annehmen, und die Richtung der ersten und die Größe der andern bestimmen.

Beispiele für den ersten Fall: Auf einer Eisenbahn soll ein Wagenzug durch Pferde fortgeschafft werden. Dieselben sollen aber nicht auf der Bahn selbst, sondern zu beiden Seiten neben derselben gehen, und zwar soll ihre Wirkung so groß sein, als ob 4 Pferde in der Richtung der Bahn zögen. Die Menge der Pferde, welche man links und rechts gehen lassen will, ist willkürlich, aber es hängt von ihrer Zahl die Richtung ab, in der sie ziehen müssen. Gesetzt nun, man wolle links 2 und rechts 3 Pferde gehen lassen, in welcher Richtung müssen sie ziehen?

Fig. 5.



Auflösung. (Fig. 5.) Ziehe eine beliebig lange Linie a b, deren Richtung die Richtung der Bahn andeutet, theile sie in 4 gleiche Theile, construire über a b das △ a b f so, daß $af = \frac{3}{4} ab$, $fb = \frac{1}{2} ab$, ziehe a c ‡ f b, b c ‡ a f, so ist ∠ f a b derjenige, unter welchem die drei Pferde, ∠ b a c derjenige, unter welchem die zwei Pferde ziehen müssen.

Von den Hindernissen der Bewegung.

Hindernisse der Bewegung sind die Reibung und der Widerstand des Mittels.

Reibung. § 17. Ein Körper, welcher auf einer horizontalen Ebene ruht, sollte eigentlich, da hier die Erdschwere aufgehoben ist, durch die kleinste Kraft in Bewegung gesetzt werden können. Die Erfahrung lehrt aber, daß

dies nicht der Fall ist. Die Bewegung wird nämlich dadurch gehindert, daß die Erhabenheiten des Körpers in die Vertiefungen der Ebene und umgekehrt eingreifen. Soll daher Bewegung erfolgen, so müssen entweder die Erhabenheiten abgerissen, oder der Körper muß über dieselben wie über eine schiefe Ebene hinweggeschoben werden. Da in der Regel beides stattfindet, so ist im Allgemeinen die Reibung desto größer:

1) je rauher die sich berührenden Flächen sind, d. h. je mehr und je größere Erhabenheiten und Vertiefungen sie haben;
2) je größer die sich berührenden Flächen sind;
3) je fester die Substanz derselben;
4) je schwerer der zu bewegende Körper ist.

Drückt man die Kraft, welche nöthig ist, um die Last auf der horizontalen Ebene in gleitende Bewegung zu setzen, als einen aliquoten Theil der Last aus, so nennt man die Zahl, welche angiebt, der wievielte Theil der Last diese Kraft ist, den Reibungscoefficienten. Reibungs-Coefficient.

Dieser Reibungscoefficient ist bei verschiedenen Materien verschieden, z. B.: Eisen auf Eisen 0,277
Eisen auf Messing 0,263
Eisen auf Kupfer 0,170
Eichenholz auf Eichenholz längs der Fasern = 0,418,
desgl. die Fasern in entgegengesetzter Richtung = 0,273.
Bei der wälzenden Bewegung ist die Reibung geringer, als bei der gleitenden, und zwar desto geringer, je größer der Umfang des wälzenden Körpers ist.

Die Reibung an den Zapfenlagern von Maschinenrädern kann man sich als eine Last vorstellen, welche am Umfange des Zapfens angebracht ist. Man erhält ihre Größe, wenn man die am Rade angebrachte Last, die Kraft und die Schwere des Rades nebst seiner Welle addirt und diese Summe mit dem Reibungs-Coefficienten multiplicirt.

Je größer und breiter die Wagenräder und je dünner die Achsen sind, desto leichter fährt sich der Wagen, warum? Die Reibung vermindert man durch fettige oder ölige Substanzen. In vielen Fällen ist uns die Reibung sehr erwünscht; man sucht sie daher zu vermehren, z. B. Keile, mit welchen man Holzklötze spalten will, werden mit Kreide bestrichen. Im Winter streut man Sand oder Asche auf den Weg. Gäbe es keine Reibung, so würden wir gar nicht im Stande sein, zu gehen, am wenigsten bergauf, wir würden keinen Gegenstand mit den Händen festhalten, keinen Knoten knüpfen können u. dgl. mehr.

§ 18. Jeder sich bewegende Körper ist genöthigt, den von ihm getroffenen Theilen des Mittels, in welchem er sich bewegt, Bewegung zu ertheilen, und verliert dadurch, wie wir später beim Stoße genauer erörtern werden, so viel Bewegungsquantität, als er ihnen mittheilt. Widerstand des Mittels.

Hieraus geht hervor, daß der Widerstand des Mittels desto größer ist, je größer die in Bewegung zu setzende Masse des Mittels ist und je größere Geschwindigkeit dieser ertheilt werden muß;

also:

1) je größer die Vorderfläche des sich bewegenden Körpers;

2) je dichter das Mittel ist;

3) je schneller sich der Körper bewegt.

Und zwar ist der Widerstand n^2mal so groß, wenn die Geschwindigkeit nmal so groß ist; denn bei nfacher Geschwindigkeit ist erstens nmal so viel Masse des Mittels in Bewegung zu setzen, und zweitens dieser Masse eine nmal so große Geschwindigkeit zu ertheilen.

B. Gleichgewichts- und Bewegungsgesetze fester Körper.

Stoß

§ 19. Vom Stoße. Es sollen hier nur einige Fälle des Stoßes betrachtet werden, nämlich der centrale Stoß für vollkommen harte unelastische und für vollkommen elastische Kugeln.

Erklärung. Für Kugeln ist der Stoß central, wenn die Richtungen der Bewegung durch die Mittelpunkte der Kugeln gehen.

unelastischer Kugeln.

1) Stoß unelastischer Kugeln.

a. Trifft eine Kugel von M Pfd. Masse mit einer Geschwindigkeit von C' auf eine ruhende mpfündige Kugel, so bewegen sich beide in der Richtung der ersteren mit einer Geschwindigkeit von $\frac{MC}{M+m}$.

In der bewegten Kugel befindet sich eine Kraft, die M Pfd. C F. in der Secunde treibt; dieselbe Kraft würde 1 Pfd. MC F. in der Secunde treiben (nach § 13, 1). Da nach dem Zusammentreffen nicht 1 Pfd., sondern M + m Pfd. in Bewegung zu setzen sind, so werden diese eine Geschwindigkeit von $\frac{MC\,F.}{M+m}$ erhalten.

b. Bewegt sich auch die zweite Kugel und zwar in derselben Richtung wie die erste, mit einer Geschwindigkeit von c F., so gehen beide in dieser Richtung mit einer Geschwindigkeit von $\frac{MC+mc\,F.}{M+m}$ weiter.

Die erste Kugel besitzt eine Kraft, welche 1 Pfd. MC F., die zweite eine solche, welche 1 Pfd. mc F. weit treiben würde; nach dem Zusammentreffen wirkt in beiden Kugeln eine Kraft, welche 1 Pfd. (MC + mc) Fuß weit treiben würde (nach § 16 1). Da aber durch diese Kraft nicht 1 Pfd., sondern (M + m) Pfd. zu bewegen sind, so erhalten die Kugeln eine Geschwindigkeit von $\frac{MC+mc}{M+m}$ Fuß.

c. Bewegt sich die zweite Kugel der ersten entgegen, so gehen sie in der Richtung der ersteren mit einer Geschwindigkeit von $\frac{MC - mc}{M + m}$ F.

Beweis, wie für Nr. a. und b. Für bestimmte Werthe von M, m, C und c kann der obige Ausdruck positiv, gleich Null oder auch negativ werden. Welche Bedeutung hat er in diesen drei Fällen? Auch sind in ihm die beiden ersten Formeln enthalten. In wie fern?

2) Stoß elastischer Kugeln. elastischer Kugeln,

Ein Körper heißt vollkommen elastisch, wenn seine Theile, aus ihrer Lage gebracht, in jedem Falle mit derselben Kraft, mit welcher sie aus ihrer Lage gebracht wurden, genau wieder in dieselbe zurückkehren. Bei allen bekannten Körpern kehren aber die Theile nur dann wieder genau in ihre ursprüngliche Lage zurück, wenn die Verrückung derselben eine gewisse Grenze nicht überschreitet. Je weiter diese Grenze, desto elastischer nennen wir den Körper. Wird ein elastischer Körper gedrückt, so weichen die getroffenen Theile desselben so lange zurück, bis der Gegendruck gleich der drückenden Kraft ist; hört diese auf zu wirken, so kehren die Theile mit derselben Kraft in ihre Lage zurück, mit welcher sie gedrückt wurden.

Wird auf einen Gummiball ein schwerer Körper gelegt, so giebt er ein wenig nach, er wird abgeplattet; dann aber tritt Ruhe ein; ein Beweis, daß die Theile des Balles eben so stark nach oben drücken, als der schwere Körper nach unten. Wird das Gewicht des drückenden Körpers vergrößert, so weichen die Theile des Balles noch etwas zurück, kommen aber dann auch wieder zur Ruhe. Sie drücken also wieder eben so stark nach oben, wie jener Körper nach unten.

Hieraus geht hervor, daß eine elastische Kugel, wenn sie einen Stoß bekommt, doppelt so viel Geschwindigkeit erhält, als eine unelastische.

Fig. 6.



Beweis. (Fig. 6.) Gesetzt, die Kugel a erhält in der angedeuteten Richtung einen Stoß, der ihr, wenn sie unelastisch wäre, eine Geschwindigkeit von g Fuß ertheilte. Da nun beim Stoße die getroffenen Theile der Kugel so weit nachgeben, bis die Rückwirkung der Elasticität gleich der stoßenden Kraft ist, so bekommt die Kugel durch das Zurückspringen der gewichenen Theile in ihre ursprüngliche Lage noch einmal denselben Stoß. Ein Stein, mit einer Ballkeule geschlagen, fliegt nicht so weit, als ein Gummiball.

So oft zwei elastische Kugeln von gleicher Masse zusammentreffen, vertauschen sie ihre Geschwindigkeiten. Das Gesetz gilt: von gleicher Masse,

1) wenn eine Kugel ruht und die andere sie trifft,
2) wenn die Kugeln sich in entgegengesetzter,
3) in gleicher Richtung bewegen.

Fig. 7.



1) Die Kugel a ruhe, b treffe sie in der Richtung von b nach a mit einer Geschwindigkeit von c Fuß, so würden beide Kugeln, wenn sie unelastisch wären, in der Richtung b a mit einer Geschwindigkeit von $\frac{c}{2}$ Fuß weiter gehen. Es erhält also Kugel a durch den Stoß $\frac{c}{2}$ Fuß Geschwindigkeit in der Richtung b a; nun erhält sie aber durch die Elasticität noch einmal $\frac{c}{2}$ Fuß Geschwindigkeit, also geht sie mit c' Geschwindigkeit in der Richtung b a. Die Kugel b hat durch den Stoß $\frac{c}{2}$ Fuß an Geschwindigkeit in der Richtung b a verloren, oder was dasselbe ist, $\frac{c'}{2}$ in der Richtung a b gewonnen, also gewinnt sie in derselben Richtung durch die Elasticität noch einmal $\frac{c}{2}$ Fuß Geschwindigkeit, also kommt sie nach dem Stoße zur Ruhe.

Für den zweiten und dritten Fall läßt sich das Gesetz auf dieselbe Art beweisen: man berechnet zuerst den Erfolg des Stoßes, wenn die Kugeln unelastisch wären, und rechnet dann noch die Wirkung der Elasticität hinzu, die wie oben gezeigt ist, für jede Kugel gerade so groß ist, als die des Stoßes allein.

Fig. 8.



Ein Beispiel in bestimmten Zahlen: Die Kugel a bewege sich nach b mit einer Geschwindigkeit von 40', b nach a mit einer Geschwindigkeit von 30'. Wären die Kugeln unelastisch, so würden sich beide nach dem Stoße mit einer Geschwindigkeit von 5' in der Richtung a b bewegen. a verliert also durch den Stoß in der Richtung a b 35' Geschwindigkeit, oder was dasselbe ist, gewinnt in der Richtung b a 35' Geschwindigkeit. Dieselbe Geschwindigkeit gewinnt sie außerdem noch durch die Elasticität; also geht sie nach dem Stoße in der Richtung b a mit 30 Fuß Geschwindigkeit. Die Kugel b gewinnt durch den Stoß allein in der Richtung a b 35' Geschwindigkeit; durch die Elasticität gewinnt sie eben so viel; also geht sie mit 40' Geschwindigkeit in der Richtung a b.

In derselben Weise läßt sich der Erfolg berechnen, wenn elastische Kugeln von verschiedener Masse auf einander stoßen.

Von den einfachen Maschinen.

Einfache Maschinen sind: die schiefe Ebene, der Keil, die Schraube, die Rolle, der Hebel und das Wellrad.

Die schiefe Ebene.

§ 20. **Die schiefe Ebene.** Erklärung. Jede Ebene, welche gegen die horizontale geneigt ist, heißt **schiefe Ebene**; ein Loth von irgend einem Punkte derselben auf die horizontale, ihre **Höhe**; die Senk-

rechte von dem Fußpunkte dieses Lothes auf die Durchschnittslinie der schiefen Ebene mit der horizontalen, Basis; die Senkrechte von dem andern Endpunkte jenes Lothes auf die genannte Durchschnittslinie, Länge der schiefen Ebene.

Die schiefe Ebene wendet man meist an, um schwere Körper von ihrem Orte auf einen höher oder tiefer gelegenen Ort zu schaffen.

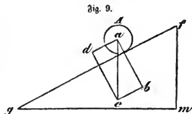
Soll ein Körper ohne Anwendung einer besonderen Vorrichtung, also bloß durch Menschenhände gehoben werden, so muß die angewandte Kraft gleich dem Gewichte des Körpers sein; wird er aber auf der schiefen Ebene in die Höhe bewegt, so braucht die Kraft, wenn sie parallel der schiefen Ebene wirkt, nur den so vielten Theil seines Gewichts zu betragen, der wie vielte Theil die Höhe der schiefen Ebene von ihrer Länge ist; d. i.: Gleichgewichtsgesetz für die schiefe Ebene.

a. Wenn die Kraft parallel der schiefen Ebene wirkt, so verhält sich die Kraft zur Last, wie die Höhe zur Länge der schiefen Ebene. Wenn die Kraft parallel der schiefen Ebene wirkt.

Anmerkung. Es ist hier und auch in dem Folgenden bei den übrigen Maschinen immer nur von der Kraft die Rede, welche der Last das Gleichgewicht hält; jeder beliebige Ueberschuß an Kraft bringt die Last in Bewegung, deren Geschwindigkeit sich nach der Größe dieses Ueberschusses richtet.

Beweis. (Fig. 9.) A bedeute den Körper, ac sein Gewicht. Zerlege ac in die Kräfte ab u. ad, so braucht nur ad aufgehoben zu werden; denn ab wird durch die schiefe Ebene unwirksam gemacht. Es ist aber $\triangle$ adc $\sim \triangle$ mfg, folglich $\frac{ac}{ad} = \frac{fg}{fm}$.

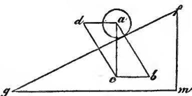
Fig. 9.



b. Wenn aber die Kraft parallel der Basis wirkt, so verhält sich die Kraft zur Last, wie die Höhe zur Basis der schiefen Ebene. Wenn die Kraft parallel der Basis wirkt.

Beweis. Unterscheidet sich von dem vorigen nur dadurch, daß (Fig. 10.) ad ‡ mg gemacht wird.

Fig. 10.



Die beiden Proportionen gelten auch dann, wenn fm = o oder mg = o ist. Auf horizontalen Strecken der Eisenbahn braucht die Locomotive nur die Reibung zu überwinden, bei Steigungen muß sie einen Theil der Last heben. Daher dürfen Eisenbahnen nie zu steil sein.

Der Keil. § 21. **Der Keil.** Erklärung. Der Keil ist ein gerades dreiseitiges Prisma, dessen Grundflächen gleichschenklige Dreiecke sind.

Der Schenkel eines solchen Dreiecks heißt **Seite**, seine Grundlinie **Rücken** des Keils.

Gleichgewichtsgesetz für den Keil. **Beim Keile verhält sich die Kraft zur Last, wie der halbe Rücken zur Seite des Keils.**

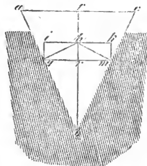


Fig. 11.

Beweis. (Fig. 11.) a c b sei der Durchschnitt eines in dem Spalte eines Holzklotzes steckenden Keiles. Ziehe die Linie b f, welche ∠ a b c halbirt. Die Linien g h und m h, welche senkrecht auf a b und c b stehen, mögen die Kräfte darstellen, mit welchen das Holz auf den Keil drückt. Zerlege jede derselben in eine Kraft, deren Richtung parallel mit b f, und in eine, welche senkrecht auf b f wirkt; also g h in g i und g r; die Kraft m h in m k und m r. Die Kräfte g r und m r heben einander auf, die beiden Kräfte g i und m k treiben den Keil aus dem Spalte heraus und müssen durch eine entgegenwirkende Kraft aufgehoben werden.

Nun ist $\triangle$ g h r $\sim$ $\triangle$ a b f und daraus folgt

$$\frac{gh}{rh} = \frac{ab}{af}, \text{ d. i. } \frac{gh}{gi} = \frac{ab}{af}$$

$$\text{und also auch } \frac{gh + mh}{gi + mk}, \text{ d. i. } \frac{2\,gh}{2\,gi} = \frac{ab}{af}.$$

Alle schneidenden Instrumente sind Keile, z. B. das Messer, die Scheere, der Hobel, das Stemmeisen, das Beil. Bei den meisten bildet die Schneide wieder einen Keil für sich. Wozu dieser zweite Keil? Warum nimmt man zum Holzspalten eine Axt, deren Schneide einen ziemlich stumpfen Keil bildet, zum Kleinhauen aber eine Axt mit sehr spitzem Keile? Warum zieht man beim Schneiden mit einem Messer dasselbe wie eine Säge über den zu schneidenden Gegenstand hin? Warum gebraucht man zum Schleifen eines Tischmessers, eines Federmessers und eines Barbiermessers verschiedene Arten von Schleifsteinen? Wie unterscheiden sich gröbere Schleifsteine von feineren? Warum macht man die Schleifsteine gewöhnlich naß? Warum werden Messer stumpf, wenn man sie in kochendes Wasser taucht? Auch der Nagel, der Pfriemen, die Nadel sind Keile.

Die Schraube. § 22. **Die Schraube.** Erklärung. Die Schraube besteht aus 2 Theilen, der **Schraubenspindel** und der **Schraubenmutter**. Die Schraubenspindel ist ein gerader Cylinder mit einer sich an seinem Umfange herumwindenden Erhöhung. Die Richtung dieser Erhöhung wird durch die Hypotenuse eines um den Cylinder gelegten rechtwinkligen Dreiecks angegeben, dessen eine Kathete gleich der Peripherie der Cylindergrundfläche ist.

Die Hypotenuse bildet einen Schraubengang; durch mehrere Schraubengänge entsteht die Schraubenlinie. Die der Spindelachse parallele Kathete ist die Höhe des Schraubenganges. Die Schraubenmutter ist ein Körper mit einer cylindrischen Oeffnung, in deren Wänden eine spiralförmige Vertiefung angebracht ist, in welche die Erhöhung der Schraubenspindel paßt. Bei der Schraube ruht die Last nicht unmittelbar auf der schiefen Ebene, sondern auf der Schraubenmutter, und die Kraft wirkt auf diese in horizontaler Richtung. Daher gilt für die Schraube nach § 20 b. das Gesetz:

Gleichgewichtsgesetz für die Schraube.

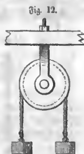
Es verhält sich die Kraft zur Last, wie die Höhe des Schraubenganges zur Peripherie der Spindel.

Anwendung der Schraube: Die Buchbinderpresse, die Pflanzenpresse, die Dachschraube des Zimmermanns, deren Einrichtung sich von der der Buchbinderpresse im Wesentlichen nicht unterscheidet, nur daß die Schraubenmuttern sich nicht über, sondern unter dem beweglichen Brette befinden. Dieselbe wird benutzt, um das Dach von niedrigen Gebäuden zu stützen, wenn die Umfassungsmauern ausgebessert werden sollen. Die Schraube wird auch gebraucht, wenn man einen Körper an einen andern befestigen will, z. B. die Thürschlösser und dergl. werden angeschraubt, wobei weniger die Kraft-Ersparniß, als vielmehr die Reibung benutzt wird.

Die Rolle.

§ 23. Die Rolle. Erklärung. Die Rolle ist eine kreisförmige Scheibe, deren Peripherie zur Aufnahme eines Seiles mit einer Rinne versehen ist. Man unterscheidet zweierlei Rollen, die feste und die bewegliche Rolle.

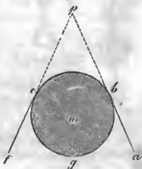
Fig. 12.



Die feste Rolle ist eine solche, welche sich um eine feste Achse dreht. (Fig. 12.) Die bewegliche Rolle ist eine solche, welche sich mit ihrer Achse fortbewegt. Bei den festen Rollen sind Kraft und Last an den beiden Enden des über die Rolle gelegten Seiles angebracht. Kraft und Last stehen im Gleichgewicht, wenn sie einander gleich sind.

Gleichgewichtsgesetz für die feste Rolle.

Fig. 13.



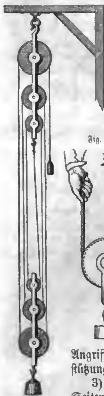
Beweis. Die Wirkung einer Kraft ändert sich nicht, wenn man ihren Angriffspunkt in verschiedene Punkte ihrer Richtung versetzt; denn wenn man z. B. einen Wagen an der Deichsel fortzieht, so ist es gleichgültig, in welchem Punkte derselben man anfaßt, wenn man nur immer in der Richtung derselben zieht. Eben so ist es, wenn man ihn an einem Seile fortzieht.

Gesetzt nun, gbc (Fig. 13.) ist eine feste Rolle und an dem darüber liegenden Seile ziehen zwei Kräfte in der Richtung ba und cf. Ist dann der Punkt p, in welchem sich diese

Richtungen schneiden, mit der Rolle fest verbunden, so kann man die Angriffspunkte der beiden Kräfte von c und b nach p versetzen. Diese zwei auf den Punkt p in der Richtung pb und pc wirkenden Kräfte stehen nun im Gleichgewicht, wenn ihrer Resultirenden das Gleichgewicht gehalten wird; und dies ist der Fall, wenn dieselbe durch die feste Achse m geht. In diesem Falle halbirt sie aber den Winkel bei p und dann müssen die beiden Kräfte, wie sich durch das Kräfte-Parallelogramm nachweisen läßt, einander gleich sein.

Bei dieser Beweisführung haben wir die Entfernung des Punktes p von der Achse m gar nicht zu berücksichtigen brauchen, sie gilt also auch für jede beliebige Entfernung desselben; also auch, wenn p im Unendlichen liegt, d. i. wenn die Richtungen der beiden Kräfte parallel sind.

Fig. 15.



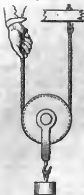
Die feste Rolle benutzt man, um einer Kraft eine andere Richtung zu geben, z. B. um Thüren vermittelst eines Gewichtes geschlossen zu halten, Fässer, Waarenballen u. dgl. auf den Lagerboden zu ziehen.

Die bewegliche Rolle hängt in einem Seile, von welchem das eine Ende irgendwo befestigt ist, während an dem andern die Kraft wirkt. Die Last hängt an der Achse der Rolle. (Fig. 14.)

Gleichgewichtsgesetz für die bewegliche Rolle.

An der beweglichen Rolle stehen Kraft und Last im Gleichgewicht, wenn erstere halb so groß als letztere ist.

Fig. 14.



Die Last hängt hier an zwei Seilen; jedes derselben hat nur die Hälfte der ersteren zu tragen. (Die Rolle als feste gedacht und die Last als den Widerstand, den sonst der Befestigungspunkt bietet.)

Der Flaschenzug (Fig. 15.) ist eine Verbindung mehrerer fester und eben so vieler beweglicher Rollen. Die doppelte Anzahl der beweglichen Rollen giebt an, wie viel mal kleiner die Kraft ist, als die Last.

Der Hebel.

§ 24. Der Hebel. Erklärungen.

1) Der Hebel ist ein unbiegsamer Stab, der in einem seiner Punkte unterstützt ist.

2) Die beiden Theile des Hebels vom Angriffspunkte der Kraft und der Last bis zum Unterstützungspunkte heißen Hebelsarme.

3) Liegen die beiden Angriffspunkte auf verschiedenen Seiten des Unterstützungspunktes, so heißt der Hebel zweiarmig, liegen sie beide auf derselben Seite, einarmig. Haben die Hebelsarme verschiedene Richtung, so heißt der Hebel ein Winkelhebel.

4) Das Loth vom Unterstützungspunkte auf die Richtung der Kraft heißt Entfernung der Kraft vom Unterstützungspunkte.

5) Das Product aus der Kraft und ihrer Entfernung vom Unterstützungspunkte heißt das statische Moment der Kraft.

Für alle drei Hebelarten gilt dasselbe Gleichgewichtsgesetz: Gleichgewichtsgesetz für den Hebel.

Kraft und Last stehen im Gleichgewicht, wenn sie sich umgekehrt wie ihre Entfernungen vom Unterstützungspunkte verhalten, oder, was dasselbe ist, wenn ihre statischen Momente gleich sind.

Beweis für senkrecht auf die Hebelsarme wirkende Kräfte: Beweis für senkrecht auf die Hebelsarme wirkende Kräfte.

a. Für den zweiarmigen Hebel. am zweiarmigen.

Fig. 16.

An dem einen Ende der um eine feste Rolle gelegten Schnur abx (Fig. 16.) hänge ein Gewicht = p; an dem andern ziehe eine ihm gleiche Kraft in der Richtung bx, so steht die Rolle im Gleichgewicht. Zerlegt man nun diese Kraft, die durch die Linie bc dargestellt sei, in zwei Kräfte, von denen die eine die Richtung des verlängerten Radius hat, die andere senkrecht auf ak steht, so bringt die durch bf dargestellte Kraft gar keine Bewegung hervor, und man kann für die durch bc ausgedrückte Kraft die in der Richtung bg wirkende Seitenkraft setzen, welche = P sein mag. Den Angriffspunkt dieser Kraft kann man aber aus b nach k versetzen, ohne daß ihre Wirkung sich ändert, ohne daß also das Gleichgewicht gestört wird.

Befestigt man demnach, anstatt eine Schnur über die Rolle zu legen, im Punkte a und im Punkte k eine Schnur, und hängt im Punkte a ein Gewicht = p, und in k ein Gewicht = P an, so werden sich diese das Gleichgewicht halten, und dasselbe wird nicht gestört werden, wenn man von der Rolle unten und oben durch Schnitte, welche parallel mit ak gehen, gleiche Stücke abschneidet, so daß man einen Hebel erhält, dessen Unterstützungspunkt in m liegt, und von welchem am und km die Hebelsarme sind. Es fragt sich nun, wie groß ist P im Vergleich zu p?

Es ist $\triangle$ cbg $\sim$ $\triangle$ bkm, folglich ist

$$\frac{bg}{bc} = \frac{bm}{km} = \frac{am}{km},$$

$$\text{d. i. } \frac{P}{p} = \frac{am}{km} \text{ oder } P \cdot km = p \cdot am.$$

b. Für den einarmigen Hebel. am einarmigen.

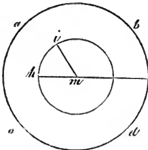
Fig. 17.

b sei der Unterstützungspunkt des Hebels ac. (Fig. 17.) Bringt man in a die Kraft Q und in d die ihr gleiche Kraft P an, und es ist ab = bd, so stehen P und Q im Gleichgewicht; sie bringen also am Hebel gleiche Wirkung hervor. Will man demnach in c eine Kraft wirken lassen, welche der Kraft P das Gleichgewicht hält, so muß diese eben so groß sein, als

wenn sie der Kraft Q das Gleichgewicht halten sollte, d. h. der einarmige Hebel steht unter denselben Bedingungen im Gleichgewicht, als der zweiarmige.

am Winkelhebel.

Fig. 18.

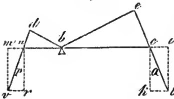


c. Für den Winkelhebel.

cabd in Fig. 18 sei eine kreisförmige Scheibe, welche sich um ihren Mittelpunkt drehen läßt, so bringt eine Kraft, welche am Umfange der Scheibe in der Richtung der Tangente wirkt, immer dieselbe Wirkung hervor, mag sie in einem Punkte der Peripherie angebracht werden, in welchem sie wolle, was aus dem für die feste Rolle entwickelten Gesetze hervorgeht. Daraus folgt, daß, wenn man um den Mittelpunkt m einen Kreis beschreibt und an seiner Peripherie eine Kraft anbringt, welche in der Richtung der Tangente wirkt, auch die Wirkung dieser Kraft unverändert bleibt, wenn man sie in verschiedene Punkte dieser Kreisperipherie versetzt. Wirkt nun in g eine Kraft = P und in h eine andere Kraft = Q, welche der Kraft P das Gleichgewicht hält, so muß $\frac{P}{Q} = \frac{hm}{mg}$ sein, weil die beiden Kräfte an dem zweiarmigen Hebel hmg wirken. Versetzt man die Kraft Q in den Punkt i, so muß sie auch der Kraft P das Gleichgewicht halten. In diesem Falle wirken aber die Kräfte an dem Winkelhebel img und es ist $\frac{P}{Q} = \frac{hm}{gm} = \frac{im}{gm}$. Am Winkelhebel stehen also auch die Kräfte P und Q im Gleichgewicht, wenn sie sich umgekehrt, wie ihre Entfernungen vom Unterstützungspunkte verhalten.

Beweis für schief auf die Hebelsarme wirkende Kräfte.

Fig. 19.



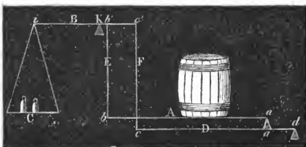
Beweis für schief auf die Hebelsarme wirkende Kräfte. (Fig. 19.) abc sei ein Hebel, auf welchen die beiden Kräfte P und Q wirken. Zerlege P in am und ar, ebenso Q in ci und ck, so bringen am und ci keine Bewegung hervor, sondern nur ar und ck; diese halten einander das Gleichgewicht, wenn ar . ab = ck . cb. Nun ist aber △ adb ∾ △ avr, folglich $\frac{P}{ar} = \frac{ab}{bd}$ d. i. P . bd = ar . ab; ebenso ist Q . be = ck . cb, also P . bd = Q . cb.

Hebel sind: Der Hebebaum, die Brechstange, die Karre, der Pumpenschwengel, die Scheere, die Zange, die Thürklinke, die Häckselschneide, die gemeine Wage, die Schnellwage. Zur Hebung großer Lasten bedient man sich **sehr langer** Hebebäume. Je näher auf der Karre die Last an das Rad gelegt wird, desto leichter ist sie zu fahren. Die Blech- und die Zaunscheere haben sehr lange Griffe, die Papierscheere ganz kurze. Je fester der zu zerschneidende Gegenstand ist, desto näher hält man ihn an den Drehpunkt der Scheere. Die Richtigkeit der

gemeinen Wage ergiebt sich nicht schon daraus, daß die leeren Wagschaalen im Gleichgewicht stehen, sondern die beiden Arme müssen auch gleich lang sein. Wie kann man die Richtigkeit einer Wage prüfen, und wie kann man selbst mit einer falschen Wage richtig wiegen? Die Knochen der Arme, der Finger bilden einarmige Hebel, an welchen der Hebelsarm der Kraft kürzer als der der Last ist.

Die Brückenwage.

Fig. 20.



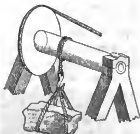
Die Brückenwage hat folgende Einrichtung (Figur 20.): B ist ein Hebel, der seinen Unterstützungspunkt in k hat und in i die Gewichte trägt. In b' hängt an der Stange E das Brett A, auf welchem die Last ruht, und welches sich im Punkte a auf eine Schneide stützt. Diese ruht auf dem Hebel D, der in c an der Stange F hängt und in d auf einer Schneide liegt.

Die Aufhänge- und Unterstützungspunkte der Hebel haben eine solche Lage, daß $\frac{k\,b'}{k\,c'} = \frac{a'd}{c\,d}$ ist, und außerdem sind die Theile der Wage so eingerichtet, daß der Hebel B, wenn die Wage unbelastet ist, horizontal steht.

Wegen der Einrichtung der beiden Hebel A und D wirkt die Last so auf den Hebel B, als ob sie unmittelbar im Punkte b' hinge, auf welcher Stelle des Brettes A die Last auch liegen mag. Denn: Ein Theil der Last zieht an der Stange E und ein Theil drückt auf a; ersterer sei = m Pfd., letzterer = r Pfd., so daß (m + r) Pfd. gleich der Last sei. Ist nun $c\,d = n\,.\,a'd$, so drücken die r Pfd. so stark nach unten, als ob in c eine Last von $\frac{1}{n}$ r Pfd. hinge. Der Hebel B wird dadurch in c mit $\frac{1}{n}$ r Pfd. nach unten gezogen. Das bringt aber dieselbe Wirkung hervor, als ob in b' $n\frac{1}{n}r$, d. i. r Pfd. hingen. Also auch der Theil der Last, welcher auf a ruht, wirkt so auf den Hebel B, als ob er in b' angriffe.

Historisches. Archimedes, 250 v. Chr., fand die Gesetze des Hebels, der schiefen Ebene, der Schraube.

§ 25. **Das Wellrad.** Das Wellrad besteht aus einer kreisförmigen Scheibe und einem Cylinder (Welle), welche so mit einander verbunden sind, daß ihre Achsen zusammenfallen. (S. Fig. 21 auf folgender Seite.) Das Wellrad.

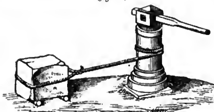

Fig. 21.

Gleichgewichtsgesetz am Wellrade.

Die Kraft wirkt hier an der Peripherie des Rades, die Last an der des Cylinders; es ist also der Radius der Welle der Hebelsarm der Last, der des Rades der Hebelsarm der Kraft. Demnach findet am Wellrade Gleichgewicht statt, wenn sich Kraft zur Last, wie Radius der Welle zum Radius des Rades verhält.

Siehe den Beweis für das Gesetz am Winkelhebel.

An der Stelle des Rades sind oft nur einzelne Speichen angebracht, wie z. B. bei der Erdwinde (Fig. 22.), der Haspel. Die gezähnten Räder sind Wellräder. Auch gehören hierher der Schlüssel und der Bohrer.


Fig. 22.

Wird ein Körper durch eine Maschine in Bewegung gesetzt, so ist stets der mechanische Nachtheil gleich dem mechanischen Vortheile. Was nämlich an Kraft gewonnen wird, geht an Zeit verloren und umgekehrt.

Dies Gesetz ist an jeder Maschine nachzuweisen.

Vom Schwerpunkte.

Jeder Körper hat einen Schwerpunkt.

§ 26. Da jedes Massentheilchen von der Erde angezogen wird, so wirkt dieselbe eigentlich mit unendlich vielen Kräften auf jeden Körper. Alle diese Kräfte haben eine Resultirende; denn man kann sie durch eine einzige Kraft aufheben, indem man den Körper an einem Faden aufhängt, den man in einem Punkte seiner Oberfläche befestigt.* Aus der Richtung des Fadens wird auch die Richtung dieser Resultirenden erkannt, die wir kurzweg Schwerkraft nennen wollen. Da der Körper, am Faden hängend, in Ruhe steht, so erhält man, wenn man ihn irgendwie in der Richtung des Faden durchschneidet, jedesmal zwei Theile, die einander, als Hebelsarme betrachtet, das Gleichgewicht halten. Befestigt man den Faden darauf in einem beliebigen andern Punkte des Körpers, so muß seine Richtung die Richtung des ersten Fadens schneiden. Denn schnitten diese Richtungen sich nicht, so könnte man durch sie zwei parallele Ebenen legen, und jede derselben theilte den Körper in zwei Theile, die einander das Gleichgewicht hielten. Die beiden Ebenen hätten den Körper aber zusammen in drei Theile ge-

* Am besten läßt sich diese Betrachtung an einer Kartoffel anschaulich machen, an deren Oberfläche man mittelst einer Stecknadel einen Zwirnfaden befestigt.

theilt: a, b und c; und von diesen müßte a + b dem c, und auch a dem b + c das Gleichgewicht halten, und das ist nicht möglich.

Befestigt man dann den Faden in einem dritten Punkte der Oberfläche des Körpers, so muß seine Richtung sowohl die erste als auch die zweite Richtung schneiden, und da die drei Richtungen nicht in einer Ebene zu liegen brauchen, so muß die dritte Richtung die beiden ersten in ihrem Durchschnittspunkte treffen. Ebenso läßt sich nun folgern, daß, wenn man den Faden in einem 4., 5., 6. u. s. w. Punkte befestigt, alle Richtungen durch den Durchschnittspunkt der beiden ersten gehen müssen. Denkt man sich also den Faden nach und nach in allen Punkten der Oberfläche des Körpers befestigt, so daß der Körper alle nur möglichen Stellungen erhält, so gehen alle Richtungen desselben durch ein und denselben Punkt.

Hieraus folgt:

Es giebt in jedem Körper einen Punkt, durch den in jeder beliebigen Lage des Körpers die Richtung der Schwerkraft geht.

Dieser Punkt heißt Schwerpunkt.

§ 27. Aus dieser Betrachtung ergiebt sich:

1) Jede durch den Schwerpunkt gelegte Ebene theilt den Körper in zwei Theile, die als Hebelsarme einander das Gleichgewicht halten. Schwerpunktsgesetze.

2) Wird ein Körper im Schwerpunkte, oder vertical über oder unter demselben unterstützt, so steht er in Ruhe.

a. Wird er im Schwerpunkt selbst unterstützt, etwa durch eine Achse, so kann man ihm jede beliebige Lage geben, und er bleibt in Ruhe. Die Erscheinung ist demnach so, als ob im Schwerpunkte das ganze Gewicht des Körpers vereinigt wäre (daher der Name Schwerpunkt) — indifferentes Gleichgewicht —.

b. Wird er vertical über dem Schwerpunkte unterstützt (aufgehängt), so kehrt er, wenn er aus seiner Lage gebracht wird, stets wieder in dieselbe zurück; — stabiles Gleichgewicht —.

Die beiden Gesetze a und b lassen sich durch einen Wagebalken anschaulich machen, dessen Achse sich so verschieben läßt, daß sie durch den Schwerpunkt geht, oder über oder unter demselben liegt.

Bei der gemeinen Wage liegt die Achse über dem Schwerpunkt des Wagebalkens. Warum darf sie nicht durch den Schwerpunkt gehen? Die Wage ist desto empfindlicher, je näher die Achse über dem Schwerpunkte liegt. Warum? Was würde mit der Wage geschehen, wenn die Achse unter dem Schwerpunkte läge?

c. Wird ein Körper vertical unter dem Schwerpunkte und zwar nur in einem Punkte unterstützt, so fällt er bei der geringsten Verrückung um; — labiles Gleichgewicht —. Um dies zu verhüten, muß

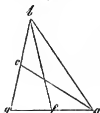
man ihn in einer Fläche unterstützen. Dreht man ihn in diesem Falle um eine der Begrenzungslinien seiner Unterstützungsfläche, so kehrt er so oft in seine Lage zurück, als die durch den Schwerpunkt gezogene Verticale die Unterstützungsfläche trifft.

Daher ist seine Stabilität desto größer, je größer die Unterstützungsfläche ist, und je tiefer der Schwerpunkt liegt.

Mathematische Bestimmung des Schwerpunkts in Figuren und Körpern.

§ 28. 1) Der Schwerpunkt eines Dreiecks liegt im Durchschnittspunkte der Linien, welche man von zwei Ecken nach dem Mittelpunkte der gegenüberliegenden Seiten zieht. Er ist von jeder Ecke doppelt so weit entfernt, als von der gegenüberliegenden Seite.

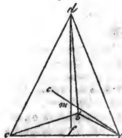
Fig. 23.



Beweis. Denkt man sich das Dreieck abg (Fig. 23.) in unendlich schmale Streifen parallel ag geschnitten, so liegen die Schwerpunkte derselben in der Linie bf, welche ag halbirt. Wird also die Linie bf in allen ihren Punkten unterstützt, so muß das Dreieck im Gleichgewicht stehen, also sein Schwerpunkt in bf liegen u. s. w.

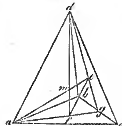
2) Der Schwerpunkt einer dreiseitigen Pyramide liegt in dem Durchschnittspunkte zweier Linien, welche man von den Ecken nach den Schwerpunkten der gegenüberliegenden Dreiecke zieht. Er ist von jeder Ecke dreimal so weit entfernt, als von dem gegenüberliegenden Dreiecke.

Fig. 24.



Beweis. Denkt man sich die Pyramide abcd (Fig. 24.) in unendlich dünne Scheiben parallel dem Dreiecke abc getheilt, so liegen die Schwerpunkte derselben in der Linie df; denn der Schwerpunkt jedes dem $\triangle$ abc parallelen Schnittes liegt in df. Denkt man sich alle Punkte der Linie df unterstützt, so muß die Pyramide im Gleichgewicht stehen, also ihr Schwerpunkt in df liegen. Ebenso muß der Schwerpunkt der Pyramide in ae liegen. Es läßt sich aber stereometrisch beweisen, daß sich ae und df schneiden. Also muß der Schwerpunkt der Pyramide in m liegen. Und nun ist noch zu beweisen, daß $am = 3\,me$. Verbinde (Fig. 25.) e mit f, so ist $\triangle efm \sim \triangle amd$; denn $\frac{ge}{cd} = \frac{gf}{fa}$, also ef ‡ ad u. s. w.

Fig. 25.

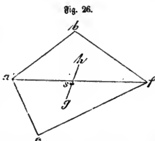


3) Den Schwerpunkt einer Fläche, welche aus zwei andern zusammengesetzt ist, erhält man, wenn man die Schwerpunkte der letzteren durch eine gerade Linie verbindet, diese als einen Hebel betrachtet, an dessen Enden die beiden Flächen hängen, und den Unterstützungspunkt sucht, für welchen der Hebel im Gleichgewicht steht.

(Fig. 26.) h sei der Schwerpunkt des △ abf, g der des △ acf. Dann ist s der Schwerpunkt des Vierecks abfc, wenn

$$\frac{hs}{sg} = \frac{\triangle\ afc}{\triangle\ abf}.$$

Hiernach läßt sich nun der Schwerpunkt eines Polygons finden.



Derselbe Satz gilt für einen Körper, der aus zwei andern zusammengesetzt ist.

Da sich nun jeder eckige Körper in dreiseitige Pyramiden zerlegen läßt, so läßt sich auch von jedem der Schwerpunkt bestimmen. Es läßt sich z. B. leicht nachweisen, daß der Schwerpunkt einer vielseitigen Pyramide in der Verbindungslinie ihrer Spitze mit dem Schwerpunkte der Grundfläche liegt, und zwar von der Grundfläche aus am Ende ihres ersten Viertels, also der Schwerpunkt eines Kegels im Viertel seiner Achse.

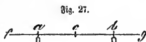
4) Der Schwerpunkt eines Prismas liegt in der Mitte der Linie, welche die Schwerpunkte der Grundflächen verbindet; also der Schwerpunkt eines Cylinders in der Mitte der Achse.

Der Beweis ist sehr leicht.

Bei manchen Körpern liegt der Schwerpunkt außer ihrer Masse, z. B. bei der Hohlkugel, bei einem Reifen, einem leeren Fasse.

Der Schwerpunkt ändert in der Regel seine Lage, wenn die Anordnung der Theile des Körpers eine andere wird. Verrückung des Schwerpunktes.

(Fig. 27.) fg sei ein Hebel, an welchem in a und b gleiche Gewichte hängen. Dann ist c der Schwerpunkt, wenn ac = bc. Rückt das eine Gewicht aus b nach g hin, so rückt auch der Schwerpunkt des Hebels auf g los.



Damit Leuchter und Lampen fest stehen, versieht man sie mit einem breiten Fuße, füllt diesen auch wohl mit Blei aus. Pyramiden stehen fester als Prismen. Ein hoch beladener Wagen ist dem Umfallen mehr ausgesetzt, als ein eben so schwer, aber niedrig beladener. Droht ein Wagen umzufallen, so neigen sich die darin sitzenden Personen auf die entgegengesetzte Seite; sie vergrößern die Gefahr, wenn sie aufstehen. Beim aufrechtstehenden Menschen liegt der Schwerpunkt in der Gegend des Magens; seine Unterstützungsfläche ist das Viereck, welches man erhält, wenn man die Fußspitzen und Fersen durch gerade Linien verbindet. Fechter stellen den einen Fuß vor. Die Matrosen gehen mit gespreizten Beinen. Das Gehen, das Schlittschuhlaufen, das Seiltanzen. Beim Ringen umfaßt man den Gegner möglichst tief unter dem Schwerpunkte. Will man von einem Stuhle aufstehen, so zieht man die Füße zurück und neigt den Oberkörper nach vorn. Trägt man eine Last in der rechten Hand, so neigt man sich nach links, streckt auch wohl den linken Arm aus. Man geht gebückt oder rückwärts gebogen, je nachdem man eine Last auf dem Rücken oder vor sich trägt. Warum fällt man leichter, wenn ein Fuß seitwärts, als wenn er nach vorn oder

hinten ausgleitet? Ein Gewehr ist schwerer horizontal zu halten, wenn man es am obern Ende des Laufes, als wenn man es am Kolben faßt. Ein schwerer Körper balancirt sich leichter als, ein leichter. Ebenso balancirt sich ein Körper desto leichter, je höher der Schwerpunkt liegt. Der Seiltänzer hält die Balancirstange nach rechts, wenn er nach der linken Seite schwankt, oder er dreht schnell das linke Ende der Stange nach unten. Erklärung der Purzelmännchen.

Archimedes bestimmte zuerst den Schwerpunkt auf mathematischem Wege.

Fallbewegung.

Der freie Fall.

Alle Körper fallen gleich schnell.

§ 29. **Vom freien Falle.** Die Erfahrung lehrt, daß **im luftleeren Raume alle Körper gleich schnell fallen**, nämlich in der ersten Secunde ungefähr 15 ½ Fuß Rheinl., so daß also weder das Gewicht, noch die Art der Materie von Einfluß auf die Fallgeschwindigkeit ist.

Auf dieses Gesetz kommt man a priori, wenn man von den Voraussetzungen ausgeht, daß die Stärke der Erdanziehung sich **nur** nach der Masse der Körper richtet (§ 6) und daß sich die Geschwindigkeiten zweier Körper verhalten, wie die treibenden Kräfte, dividirt durch die Massen (§ 13, Nr. 3).

Denn: Hat ein Körper A nmal so viel Masse, als ein anderer B, so wird nach der ersten Voraussetzung A nmal so stark von der Erde angezogen, als B. Wirkt aber auf die nmal so große Masse A eine nmal so starke Kraft als auf B, so muß sie nach der zweiten Voraussetzung gleiche Geschwindigkeit mit dieser erhalten.

Führen die auf eine Voraussetzung gebauten Schlüsse zu einem richtigen Resultate, so gewinnt die Voraussetzung an Wahrscheinlichkeit. Wir haben also in der Erscheinung, daß alle Körper mit gleicher Geschwindigkeit fallen, einen neuen Beleg für die Richtigkeit der beiden angeführten Gesetze.

Es wird sich später bei Betrachtung des Pendels ergeben, daß die Stärke der Erdanziehung mit zunehmender Höhe abnimmt. Diese Abnahme ist jedoch für diejenigen Höhen, bis zu welchen wir gewöhnlich gelangen, so gering, daß wir sie unberücksichtigt lassen können.

Z. B. ein Stein, den man von einem Thurme herabfallen läßt, durcheilt in 1, 1¼, 1½ ꝛc. Secunden dieselben Räume, die ein anderer Stein in diesen Zeiten zurücklegt, der von einem Hause herabfällt.

Warum verliert beim Fallen von zwei Körpern, welche gleiche Gestalt und gleiches Volumen haben, der specifisch leichtere Körper durch den Luftwiderstand mehr an seiner Geschwindigkeit, als der specifisch schwerere? oder allgemeiner: Warum verliert von zwei Körpern von gleicher Gestalt und gleichem Volumen, die sich in demselben Mittel bewegen, der specifisch leichtere mehr an seiner Geschwindigkeit, als der andere?

Die Bewegung des fallenden Körpers ist eine beschleunigte.

§ 30. Jede momentan auf einen Körper wirkende Kraft bringt nach § 12, 2. eine gleichförmige Bewegung hervor. Anders verhält es

sich mit continuirlich wirkenden Kräften, zu denen die Erdschwere gehört. Um die durch letztere hervorgebrachte Bewegung kennen zu lernen, betrachten wir sie als eine momentan wirkende Kraft, die ihre Wirkung in unendlich kleinen Zwischenräumen wiederholt, oder was dasselbe ist: Wir nehmen an, die Erdschwere wirke in einzelnen Stößen, welche in unendlich kleinen Zwischenräumen auf einander folgen, und wollen einen solchen unendlich kleinen Zeitraum einen Moment nennen.

Gesetzt nun, der Körper bewege sich durch den ersten Stoß w F. weit, so wird er im zweiten Momente durch das Beharrungsvermögen wieder w F. und außerdem noch durch den zweiten Stoß w F., also zusammen 2 w F. weit gehen, im dritten Momente 3 w F. u. s. w.

Ein Körper fällt also

im 1.	Momente	w F.,
im 2.	„	2 w F.,
im 3.	„	3 w F.,
im 4.	„	4 w F.,
.		.
.		.
.		.

Hieraus geht hervor:

1) Die Geschwindigkeit des freifallenden Körpers nimmt in jedem Momente zu; seine Bewegung ist also eine beschleunigte.

Anmerkung. Man kann also nicht schlechtweg fragen: „wie groß ist die Geschwindigkeit eines freifallenden Körpers", sondern man muß den Moment dazu setzen, von welchem man die Geschwindigkeit wissen will. Es könnte also z. B. gefragt werden: Wie groß ist die Geschwindigkeit eines fallenden Körpers im letzten Momente der 3. Secunde? — d. i. die Endgeschwindigkeit der 3. Secunde. Als Antwort giebt man an, welche Strecke der Körper zurücklegen würde, wenn er mit der Geschwindigkeit dieses Momentes eine ganze Secunde lang sich fortbewegte. — Beispiel. — Dasselbe gilt von jeder beschleunigten und verzögerten Bewegung.

Aus obiger Reihe geht hervor:

2) Die Geschwindigkeiten eines frei fallenden Körpers verhalten sich wie die Fallzeiten. Verhältniß der Endgeschwindigkeiten.

Ein Körper, welcher t Momente gefallen ist, legt im letzten Momente tw Fuß zurück; ist er aber n mal so lange, also nt Momente gefallen, so ist der im letzten Momente durchlaufene Raum = ntw Fuß. Er durchläuft also im zweiten Falle in derselben Zeit einen n mal so großen Weg, als im ersten Falle, d. h. seine Geschwindigkeit ist im zweiten Falle n mal so groß, als im ersten.

Denkt man sich die obige Reihe für eine ganze Secunde des Fallens fortgesetzt, so würde ihre Summe den Fallraum der 1. Secunde geben. Ein Körper fällt aber in der 1. Secunde 15 Fuß, und es ist

bekannt, daß, wenn man in einer arithmetischen Reihe für jedes Glied das mittelste setzt, die Summe der Reihe unverändert bleibt. Folglich würde man als Summe obiger Reihe 15 F. erhalten, wenn man für jedes Glied den Fallraum des letzten Moments der ersten halben Secunde setzte. Es würde demnach der fallende Körper 15 F. zurücklegen, wenn er sich eine Secunde lang mit der Endgeschwindigkeit der ersten halben Secunde gleichförmig bewegte, und das heißt: Die Endgeschwindigkeit der ersten halben Secunde ist = 15 F.

Hieraus und aus Nr. 2) folgt:

Größe der Endgeschwindigkeiten.

Die Endgeschwindigkeit der 1. Secunde = 2 . 15 F.,
" " " 2. " = 2 . 2 . 15 F.,
" " " 3. " = 3 . 2 . 15 F.,
.
.
.
" " " t " = t 2 . 15 F.

3) Also die Endgeschwindigkeit der tten Secunde $c = 2tg$, (wo g den Fallraum der ersten Secunde bezeichnet).

Diese Formel ist in Worten auszudrücken.

Hieraus geht nun wieder hervor:

Fallraum einzelner Secunden.

Wenn der Fallraum der 1. Secunde = 15 F.,
so ist " " " 2. " = 3 . 15 F.,
" " " 3. " = 5 . 15 F.,
" " " 4. " = 7 . 15 F.,
.
.
.
" " " t " = (2t — 1) . 15.

Also 4) der Fallraum der tten Secunde $f = (2t - 1)\ g$.

— Diese Formel bedeutet? —

Anleitung zur Entwickelung: Die Endgeschwindigkeit der 1. Secunde war = 2 . 15 F. Der Körper würde also, wenn er nicht mehr von der Erde angezogen würde, in der 2. Secunde 2 . 15 F. fallen; die Erde zieht ihn aber in der 2. Secunde eben so stark an, als in der ersten, also geht er wegen der Erdanziehung noch 15 F.; also zusammen 3 . 15 F. Ebenso läßt sich der Fallraum der 3. Secunde aus der Endgeschwindigkeit der 2., der Fallraum der tten Secunde aus der Endgeschwindigkeit der (t — 1)sten entwickeln.

Beispiel. Der freifallende Körper fällt in der 20. Secunde (2 . 20 — 1) 15 Fuß.

Fallraum für beliebige Zeitlängen.

Aus den Fallräumen der einzelnen Secunden läßt sich durch Addition der Fallraum von mehreren Secunden berechnen. Man erhält:

Der Fallraum in 1 Secunde = 15 F.,
" " " 2 Secunden = 4 . 15 F.,
" " " 3 " = 9 . 15 F.,
" " " 4 " = 16 . 15 F.,
. .
. .
. .
t " = t^2 . 15 F.

5) Also der Fallraum in t Secunden $F = t^2 . g$ F.
— In Worten? —

(Die Mathematik lehrt, daß man durch Addition der ungeraden Zahlen die Quadrate der natürlichen Zahlenreihe erhält.)

Bestätigung der Fallgesetze durch den Versuch.

Die Richtigkeit dieser Gesetze läßt sich durch die Atwood'sche Fallmaschine (Fig. 28.) nachweisen: Dieselbe besteht im Wesentlichen aus einer Rolle, welche von einer 7 Fuß hohen, mit einem Maaßstabe versehenen Säule getragen wird, und über welche eine Schnur geht, an deren Enden zwei gleiche Gewichte hängen. An der Säule sind zwei Scheiben angebracht, welche sich beliebig verschieben lassen, und von welchem die eine eine Oeffnung hat, durch die das eine Gewicht durchfallen kann.

Fig. 28.



Wiegt jedes Gewicht 1 Pfd. u. man legt auf das eine ein Uebergewicht von $\frac{1}{4}$ Pfd., so fällt das letztere 9mal langsamer, als ein freifallender Körper, weil die Schwerkraft des Viertelpfundes 9 mal so viel Masse in Bewegung zu setzen hat, als beim freien Falle. Beträgt das Uebergewicht $\frac{1}{n}$ der ganzen Masse, so ist die Geschwindigkeit n mal geringer, als beim freien Falle.

Durch die Maschine läßt sich nun erstens die Richtigkeit des 5. Gesetzes nachweisen, — auf welche Weise? — und daraus ergiebt sich die Richtigkeit des 4. von selbst. Zweitens läßt sich die Richtigkeit vom 3. darthun, indem man das Gewicht durch die Oeffnung der einen Scheibe fallen läßt, wobei sich das Uebergewicht abhebt. — Genauere Beschreibung des Verfahrens. — Hieraus ergiebt sich dann die Richtigkeit vom 1. und 2. Gesetze: Auf welche Weise?

Fall auf der schiefen Ebene.

§ 31. Fall auf der schiefen Ebene. Bewegt sich ein Körper beim freien Falle im ersten Momente w F., so fällt er auf einer schiefen Ebene, deren Höhe h F. und deren Länge l F., im ersten Momente $\frac{h}{l}$ w F., dann muß er (gefolgert wie beim freien Falle)

im 2. Momente $2\frac{h}{l}$ w F. fallen,

" 3. " $3\frac{h}{l}$ w F. "

" 4. " $4\frac{h}{l}$ w F. u. s. fort.

. .
. .
. .

Hieraus ergeben sich folgende Gesetze:

Endgeschwindigkeit. 1) Die Bewegung des auf der schiefen Ebene herabfallenden Körpers ist eine beschleunigte, und zwar verhalten sich seine Geschwindigkeiten wie die Zeiten.

Läßt sich ganz ebenso entwickeln, wie beim freien Falle.

2) Die Endgeschwindigkeit der tten Secunde $c = 2t\frac{h}{l}g$.

Denn wenn die Summe der Reihe des freien Falles für eine Secunde g F. ergiebt, so muß diese Reihe hier $\frac{h}{l}$ g F. geben, weil jeder Posten $\frac{h}{l}$ mal so groß ist, als in der Reihe des freien Falles, und daraus läßt sich wie beim freien Falle folgern, daß die Endgeschwindigkeit der ersten halben Secunde $= \frac{h}{l}g$,

der 1. ganzen Secunde $= 2\frac{h}{l}g$,

der 2. " " $= 2 . 2\frac{h}{l}g$

u. s. w., also der tten Secunde, d. i. $c = 2t\frac{h}{l}g$.

Fallraum. 3) Der Fallraum der tten Secunde, d. i. $f = (2t - 1)\frac{h}{l}g$.

4) Der Fallraum in t Secunden, d. i. $F = t^2\frac{h}{l}g$.

Beide Gesetze werden entwickelt, wie beim freien Falle.

Die Formeln für den Fall auf der schiefen Ebene unterscheiden sich demnach von denen des freien Falles bloß dadurch, daß für g überall $\frac{h}{l}g$ steht.

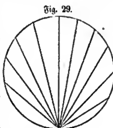
Aufgaben:

Es ist zu beweisen: 1) Läßt man einen Körper auf schiefen Ebenen von

verschiedener Länge, aber gleicher Höhe, herabfallen, so kommt er am Fuße derselben mit einerlei Geschwindigkeit an, und zwar mit derjenigen, welche er, von derselben Höhe frei herunterfallend, erreichen würde.

2) Zieht man in einem vertical stehenden Kreise (Fig. 29.) den verticalen Durchmesser und von dem Fußpunkt desselben beliebig viele Sehnen, so haben die schiefen Ebenen, welche durch diese Sehnen dargestellt werden, die Eigenthümlichkeit, daß ein Körper auf allen dieselbe Zeit gebraucht, um vom höchsten bis zum tiefsten Punkte zu gelangen, als er zum Durchfallen des verticalen Durchmessers gebraucht.

Fig. 29.



Die Gesetze des freien Falles und des Falles auf der schiefen Ebene sind von Galiläi entdeckt. 1620.

Vom Wurfe.

§ 32. Der Wurf senkrecht abwärts. Gesetzt, ein Körper werde mit einer Geschwindigkeit von c F. senkrecht abwärts geworfen und die Secunde habe n Momente (unendlich kleine Zeittheilchen), so gelangt der Körper im 1. Momente $\frac{c}{n} + w$ F. tief, — Der Wurf senkrecht abwärts.

im 2. „ $\frac{c}{n} + w + w = \frac{c}{n} + 2w$,

im 3. „ $\frac{c}{n} + 2w + w = \frac{c}{n} + 3w$,

im 4. „ $\frac{c}{n} + 3w + w = \frac{c}{n} + 4w$,

.
.
.

Hieraus ergiebt sich:

1) Die Geschwindigkeit, die ein senkrecht abwärts geworfener Körper in t Secunden erlangt, ist gleich der Summe aus der Geschwindigkeit, die ihm die Wurfkraft ertheilt, und der Geschwindigkeit, welche ein Körper in t Secunden durch den freien Fall erlangt, d. i. $G = c + 2tg$. — Geschwindigkeit.

Ist leicht zu entwickeln.

2) Der Weg, den ein solcher Körper in t Secunden durchläuft, ist gleich der Summe aus dem Wege, welchen er wegen des Wurfes durchläuft, und dem Fallraume in t Secunden, d. i. $F = tc + t^2g$. — Weg des geworfenen Körpers.

Denkt man sich nämlich obige Reihe für t Secunden fortgesetzt, so erhält man tn Posten, von denen jeder $= \frac{c}{n}$ ist und außerdem die Fallreihe für t Secun-

den. Addirt man nun, so erhält man $t n . \frac{c}{n}$ + dem Fallraum in t Secunden, d. i. $tc + t^2g$.

Der Wurf senkrecht aufwärts. § 33. Der Wurf senkrecht aufwärts. Wird ein Körper mit einer Geschwindigkeit von c F. senkrecht aufwärts geworfen, und enthält die Secunde n Momente, so steigt er

(lies: die Reihe von unten nach oben!)

$$\begin{array}{llcc} & & \vdots & \vdots \\ \text{im } 4. & " & \frac{c}{n} - 3w - w = & \frac{c}{n} - 4w \text{ F.} \\ \text{im } 3. & " & \frac{c}{n} - 2w - w = & \frac{c}{n} - 3w \text{ F.} \\ \text{im } 2. & " & \frac{c}{n} - w - w = & \frac{c}{n} - 2w \text{ F.} \\ \uparrow \text{ im } 1. & \text{Momente} & & \frac{c}{n} - w \text{ F.} \end{array}$$

Hieraus folgt:

Geschwindigkeit und Höhe des geworfenen Körpers. 1) Die Geschwindigkeit eines senkrecht aufwärts geworfenen Körpers nach Secunden ist gleich der Differenz der ihm durch den Wurf ertheilten Geschwindigkeit und der Endgeschwindigkeit eines freifallenden Körpers nach t Secunden, d. i. $G = c - 2tg$.

2) Die Höhe, welche ein aufwärts geworfener Körper erreicht, ist gleich der Differenz der Höhe, bis zu welcher ihn der Wurf allein treiben würde, und dem Fallraume in t Secunden,

d. i. $H = tc - t^2g$.

Denkt man sich die Reihe für t Secunden fortgesetzt und addirt sie, so muß man $t . n . \frac{c}{n} - t^2g$ erhalten.

Die Bewegung des Aufsteigens ist die entgegengesetzte des Herabfallens. Da der aufwärts geworfene Körper einmal einen Punkt erreicht, wo er still steht, so muß das letzte Glied der obigen Reihe = 0 sein. Da nun in der Reihe jedes folgende Glied um w F. kleiner ist, als das vorangehende, so muß das vorletzte Glied = w F., das drittletzte = 2 w F., das viertletzte = 3 w F. u. s. w. sein.

Die Reihe ist also vollständig folgende:

(von unten gelesen!)

im letzten	"	0
im vorletzten	"	w
.		2 w
.		3 w
.		4 w
.		.
.		.
.		.
im 3.	"	$\frac{c}{n} - 3\,w$
im 2.	"	$\frac{c}{n} - 2\,w$
Die Steigung beträgt im 1. Momente		$\frac{c}{n} - w$ ↑

Hieraus geht hervor:

3) Der aufwärts geworfene Körper hat beim Zurückfallen in jeder Höhe dieselbe Geschwindigkeit, die er daselbst beim Aufsteigen hatte. Er gelangt also mit derselben Geschwindigkeit auf die Erde zurück, mit welcher er aufwärts geworfen wurde.

4) Er gebraucht zum Herabfallen eben so viel Zeit, als er zum Aufsteigen gebrauchte.

In den beiden Formeln unter Nr. 1 und 2 kommen außer g die vier unbestimmten Größen G, c, t und H vor. Sind zwei von ihnen gegeben, so lassen sich die andern beiden berechnen, z. B.

Aufgabe: Welche Geschwindigkeit hat ein senkrecht aufwärts geworfener Körper nach 5 Secunden, wenn seine anfängliche Geschwindigkeit 200 F. beträgt? oder: Ein senkrecht aufwärts geworfener Körper hat nach 4 Secunden noch eine Geschwindigkeit von 50 F.; mit welcher Geschwindigkeit war er geworfen? Bilde die übrigen aus den Formeln sich ergebenden Aufgaben. Bei diesen Aufgaben können die gegebenen Zahlenwerthe so gewählt werden, daß G und H positiv, negativ oder gleich Null werden. Welche Bedeutung haben dann die beiden letzten Werthe? Sind in Formel Nr. 2 H und c gegeben, so erhält man für t zwei Werthe. Warum? und welche Bedeutung haben diese? Aufgaben für den senkrecht aufwärts gerichteten Wurf.

Mit Berücksichtigung der Fallgesetze lassen sich auch Aufgaben folgender Art lösen: Mit welcher Geschwindigkeit muß ein Körper aufwärts geworfen werden, wenn er 500 F. hoch steigen soll, oder wenn er nach 8 Minuten wieder zur Erde kommen soll? oder wenn er in einer Höhe von 200 F. noch eine Geschwindigkeit von 50 F. haben soll? Oder wie hoch steigt ein Körper, der mit einer Geschwindigkeit von 500 F. geworfen wird, oder der 6 Secunden nach dem Wurfe wieder zur Erde kommt?

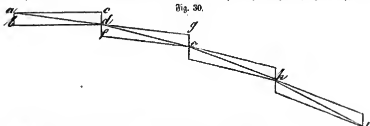
Oder: In welcher Höhe begegnen sich 2 Körper, von welchem der zweite 2 Secunden später als der erste, und der erste mit einer Geschwindigkeit von 300 F., der andere mit einer Geschwindigkeit von 200 F. geworfen wird?

Nach den oben entwickelten Gesetzen sollte ein aufwärts geworfener Körper bei seinem Zurückfallen auf die Erde hier dieselbe Wirkung ausüben, als beim Aufsteigen. Z. B. eine aufwärts geschossene Büchsenkugel sollte beim Herabfallen mit derselben Kraft ein Brett durchschlagen, wie wenn sie eben aus dem Laufe kommt; und doch macht die zurückfallende Kugel einen kaum merklichen Eindruck auf ein solches. Wie kommt das?

Der horizontale Wurf.

§ 34. **Der horizontale Wurf.** Gesetzt, ein Körper werde horizontal mit einer solchen Geschwindigkeit geworfen, daß er durch den Wurf allein in einem Momente von a nach c gelangte (Fig. 30.), und

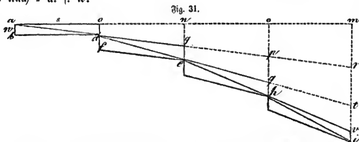
Fig. 30.



die Erdanziehung allein ziehe ihn um das Stück ab = w abwärts, so gelangt er im ersten Momente von a nach d. Zöge ihn nun die Erde nicht weiter an, so würde er im 2. Momente in dieser Richtung um dasselbe Stück weiter gehen, nämlich von d nach g. Da ihn die Erde aber wieder um das Stück df = w nach unten zieht, so wird er von d nach e gelangen; ebenso im 3. Momente von e nach h, im 4. von h nach i u. s. w.

Bestimmung einzelner Punkte der Wurfbahn.

Fig. 31.



(Fig. 31.) Untersucht man nun, wie weit der Körper sich in den einzelnen Momenten von der Horizontalen am und der Verticalen ab entfernt hat, d. h. wie weit die Punkte d, e, h, i von am und ab entfernt sind, so findet man: Der Körper entfernt sich

1) von der Linie ab in jedem Momente um das Stück ac, d. i. s.
2) von der Linie am im 1. Momente w F.,

im 2.	„	2 w F.,
im 3.	„	3 w F.,
im 4.	„	4 w F.,
.		.
.		.

Beweis: $dg = ad$, also $cn = ac = s$;
ferner $eq = ed$, folglich $pg = gd = da$ und
also $on = nc = ca$ u. s. w.
Ferner $cd = ba = w$,
$en = eg + gn = w + 2w = 3w$,
$ho = hq + qp + po = w + 2w + 3w = 6w$ u. s. w.

Befindet sich nun der Körper in einem Momente w F. und in 2 Momenten 3 w F. unter der Horizontalen, so ist er im zweiten Momente 2 w Fuß tief gesunken u. s. w.

Hieraus folgt:

Ein horizontal geworfener Körper entfernt sich in t Secunden in horizontaler Richtung so weit von seinem Ausgangspunkte, als ob ihn die Wurfkraft allein triebe, sinkt aber dabei so tief unter seine ursprüngliche Höhe, als ob er der Erdanziehung allein folgte,

d. i. $E = tc$
und $F = t^2 g$,

wo E die horizontale Entfernung, c die Geschwindigkeit, mit der der Körper geworfen wird, F die Tiefe unter der Horizontalen, g den Fallraum der ersten Secunde bedeutet.

Da die Momente unendlich kleine Zeiträume sind, so sind auch die Wege in den einzelnen Momenten unendlich kleine gerade Linien, also die ganze Bahn eine krumme Linie. Die Wurfbahn ist eine Parabel.

Gesetzt nun, einen beliebigen Punkt erreiche der Körper in t, einen andern in T Secunden und er sei mit einer Geschwindigkeit von c F. geworfen, so beträgt die Entfernung des ersten Punktes von der Verticalen tc F., die des zweiten Tc F. Die Entfernungen von der Verticalen verhalten sich also zu einander, wie t zu T. Die Entfernungen der beiden Punkte von der Horizontalen betragen $t^2 g$ und $T^2 g$ F. Sie verhalten sich also zu einander wie t^2 zu T^2. Nennt man nun die Entfernungen von der horizontalen Linie die Abscissen und die von der verticalen Linie die Ordinaten der beiden Punkte, so verhalten sich die Abscissen der beiden Punkte, wie die Quadrate ihrer Ordinaten.

Die Bahn eines horizontal geworfenen Körpers ist demnach eine krumme Linie, in welcher sich die Abscissen je zweier Punkte zu einander verhalten, wie die Quadrate ihrer Ordinaten, d. i. eine Parabel. Ihr Scheitelpunkt ist der Ausgangspunkt des Körpers.

Wozu dient das Visir auf der Büchse, der Kanone? Warum muß das Visir erhöht werden, wenn man auf einen entfernteren Gegenstand schießen will? Warum braucht man bei geringen Entfernungen gar kein Visir? Wie groß ist die Geschwindigkeit einer Büchsenkugel, die für eine Entfernung von 300 F. nur einen Zoll tief sinkt? Warum braucht eine Flinte, aus der man nur Schrot schießt, kein Visir? Warum zerstreuen sich die Schrotkörner? Wie weit fliegt

ein horizontal geworfener Körper, ehe er zur Erde kommt, wenn er mit einer Geschwindigkeit von 600 F. geworfen wird und die Höhe seines Ausgangspunktes 5 F. beträgt.

Der schiefe Wurf.

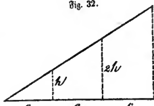


Fig. 32.

§ 35. Der schiefe Wurf. Würde ein schief in die Höhe geworfener Körper nicht von der Erde angezogen, und es wäre nach einer Secunde seine horizontale Enfernung vom Ausgangspunkte = c F. (Fig. 32.), seine Höhe über demselben = h F., so wäre nach t Secunden die erstere = tc F., die letztere th F.

Ist leicht zu beweisen.

Da aber die Erde ihn anzieht, so findet folgendes Gesetz statt:

1) Der schief in die Höhe geworfene Körper gelangt in t Secunden in horizontaler Richtung so weit von seinem Ausgangspunkte, als ob ihn die Wurfkraft allein triebe, und seine Höhe über dem Ausgangspunkte ist gleich der Differenz zwischen der Höhe, die er durch den Wurf allein erreichen würde, und dem Fallraume in t Secunden,

d. i. $E = tc$
und $H = th - t^2 g$,

wo c die horizontale Entfernung und h die Höhe bezeichnet, die er erreichen würde, wenn ihn die Erde nicht anzöge.

Der Beweis ist in derselben Weise zu führen, wie für den horizontalen Wurf.

Die Wurfbahn ist eine Parabel.

2) Die Bahn des schief in die Höhe geworfenen Körpers ist eine Parabel, deren Scheitelpunkt im höchsten Punkte der Wurfbahn liegt.

Beweis. Es ist klar, daß, wenn ein schief in die Höhe geworfener Körper seinen höchsten Punkt erreicht hat, er sich einen Moment in horizontaler Richtung bewegen muß. Von hier ab muß seine Bahn ganz dieselbe sein, wie die eines horizontal geworfenen Körpers; denn das Beharrungsvermögen vertritt hier die Stelle der horizontalen Wurfkraft. Ist also abg (Fig. 33.) die Wurfbahn, a der Ausgangspunkt, b der höchste Punkt, so muß bg ein Parabelast sein.

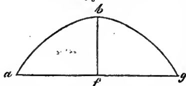


Fig. 33.

Es läßt sich auch nun beweisen, daß ab der zu bg gehörige andere Parabelast ist, daß nämlich jeder Punkt der Linie ab einen entsprechenden in bg hat, dessen Coordinaten den seinigen (absolut genommen) gleich sind: Ist der Körper in der Weise geworfen, daß er sich im ersten Momente in horizontaler Richtung s F. von seinem Ausgangspunkte entfernt, so muß er sich, wie aus Nr. 1 dieses Pa-

ragraphen hervorgeht, auch in jedem folgenden Momente um s F. von a entfernen. Der Körper muß also im letzten Momente, bevor er den Punkt b erreicht, s F. von der Verticalen entfernt sein, im zweiten Momente vorher um 2 s F., im dritten vorher um 3 s F. u. s. w. und ebenso muß er im ersten Momente, nachdem er den Punkt b erreicht hat, um s F. von bf entfernt sein, im zweiten um 2 s F. u. s. w. Hieraus folgt, daß die Ordinaten der Punkte von bg gleich denen von ab sind. Ferner: Aus Nr. 1 dieses Paragraphen geht außerdem hervor, daß die Höhe, um welche er sich in jedem Momente durch die Wurfkraft über die Horizontale ag erheben würde, in jedem Momente um w F. kleiner wird. Da nun die Erhebung im Punkte b = Null ist, so muß dieselbe im vorangehenden gleich w F. gewesen sein und im nächstvorangehenden 2 w F., dann 3 w F. u. s. w., d. h. der Körper muß im vorangehenden Momente um w F. tiefer gewesen sein, als Punkt b, im nächstvorangehenden 2 w F., dann 3 w F. u. s. w. Von der Bahnstrecke bg weiß man, daß der Körper im ersten Momente um w F. tiefer ist als b, im zweiten um 2 w, im dritten um 3 w u. s. w. Hieraus geht hervor, daß auch die Abscissen der Punkte von bg gleich denen von ab sind.

Aufgaben: 1) Ein Körper wird mit einer Geschwindigkeit von c F. und unter einem Winkel von α^0 in die Höhe geworfen; wie hoch befindet er sich in t Secunden über der Horizontalen und wie weit ist er vom Ausgangspunkte (in horizontaler Richtung) entfernt? — Bilde Aufgaben, in denen t oder c oder α die zu findende Größe ist. Bilde solche Aufgaben in bestimmten Zahlen. Aufgaben für den schiefen Wurf.

2) Ein Körper wird mit einer Geschwindigkeit von c F. und unter einem Winkel von α^0 in die Höhe geworfen. Wie hoch liegt der höchste Punkt, den er überhaupt erreicht und wie weit vom Ausgangspunkte kommt der Körper wieder zur Erde? Bilde Aufgaben, in welchen c oder α zu finden ist.

Aus den in den letzten 4 Paragraphen entwickelten Formeln ersieht man, daß die Ergebnisse der beiden zusammenwirkenden Kräfte, nämlich der Wurfkraft und der Erdanziehung gerade dieselben sind, als ob die beiden Kräfte nach einander gewirkt hätten. Es ist überhaupt ein allgemeines Naturgesetz: Wirken zwei Kräfte zugleich auf einen Körper, so ist das Resultat ihrer Wirkung in jeder beliebigen Zeit dasselbe, als ob sie nach einander gewirkt hätten. (Siehe die Gesetze über zwei momentan auf einen Körper wirkende Kräfte, § 16.)

Centralbewegung.

§ 36. Wird ein Körper an einer Schnur aufgehängt, die in einem ihrer Punkte befestigt ist, und ihm ein Stoß, etwa in horizontaler Richtung ertheilt, so würde er, wenn die Erde ihn nicht anzöge, auch kein Luftwiderstand und keine Reibung stattfände, sich ohne Aufhören um jenen festen Punkt herumbewegen. Entstehung der Centralbewegung.

Eine solche krummlinige Bewegung um einen Punkt herum entsteht jedesmal, so oft ein Körper einen momentanen Stoß erhält und dann durch eine stetig wirkende Kraft nach einem Punkte hingetrieben wird, der nicht in der Richtung des Stoßes liegt.

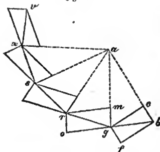


Fig. 34.

Denn gesetzt, ein Körper b (Fig. 34.) erhalte einen momentanen Stoß, welcher ihn allein im ersten Momente von b bis f triebe, und er werde nun durch eine stetig wirkende Kraft immerfort nach dem Punkte a gezogen, und zwar so, daß er, ihm allein folgend, im ersten Momente von b nach c gelangte, so bewegt er sich, von beiden zugleich getrieben, im ersten Momente von b nach g. Wegen des Beharrungsvermögens würde er im zweiten Momente von g nach o gehen; da ihn aber die stetige Kraft wieder nach a zieht, so geht er von g nach r u. s. w. Er durchläuft also den Weg bgrsxv, welcher, da bg, gr, rs, sx, xv u. s. w. unendlich klein sind, eine krumme Linie ist. Je nachdem nun die Größe und Richtung der beiden Kräfte verschieden sind, je nachdem wird auch die krumme Linie eine andere. Sie kann ein Kreis, eine Ellipse, eine Spirale u. dergl. sein.

Erklärung. Jede solche Bewegung um einen Punkt herum heißt Centralbewegung, und dieser Punkt Mittelpunkt der Bewegung; die Kraft, welche den Körper nach dem Mittelpunkte zieht (den Faden hält), Centripetalkraft; die Kraft, mit welcher sich der Körper von dem Mittelpunkte zu entfernen strebt (den Faden spannt), Centrifugalkraft.

Bei der kreisförmigen Centralbewegung heben sich Centripetal- und Centrifugalkraft gegenseitig auf, sind also gleich. Hört die Centripetalkraft plötzlich auf (reißt der Faden), so geht der Körper wegen des Beharrungsvermögens in der Richtung der Tangente seiner Bahn weiter. Seine Bewegungsquantität in diesem Falle heißt Tangentialkraft.

Jede Achsendrehung (Maschinenräder) ist eine Centralbewegung.

Bestimmung der Centripetal- und Centrifugalkraft.

§ 37. Die Centrifugalkraft ist abhängig: von der Masse des bewegten Körpers, seiner Umlaufszeit und dem Radius seiner Bahn. Ist nämlich die Bewegung kreisförmig, der Radius der Bahn = r F. und die Umlaufszeit = t Secunden, so würde der bewegte Körper, wenn die Centripetalkraft allein auf ihn wirkte, in einer Secunde $\frac{2\pi^2 r}{t^2}$ Fuß nach dem Mittelpunkte hin gehen,

$$\text{d. i. } p = \frac{2\pi^2 r}{t^2}$$

Beweis. Gesetzt, der Körper bewege sich in einer Secunde von a nach b (s. nachstehende Fig. 35.) und dieser Bogen sei im Vergleich zur ganzen Peripherie so klein, daß er als gerade Linie angenommen werden kann, so ist derselbe die Resultirende aus der Tangentialkraft (ac) und der Centripetalkraft (ad). ad läßt sich aus der Umlaufszeit und dem Radius der Bahn berechnen. abf ist ein

Fig. 35.

rechtwinkliges Dreieck und bd ist senkrecht auf af, daher ist $\frac{ad}{ab} = \frac{ab}{af}$

also $ad = \frac{ab^2}{af}$

Ist nun die Umlaufszeit = t Secunden, der Radius der Bahn = r F., so ist $ab = \frac{2\pi r}{t}$, $af = 2r$, folglich, wenn man für ad den Buchstaben p setzt,

$$p = \frac{4\pi^2 r^2}{t^2 2r} = \frac{2\pi^2 r}{t^2}$$

Die Centrifugalkraft des umlaufenden Körpers ist demnach $= \frac{2\pi^2 r}{t^2} \cdot m$, wo m die Masse des Körpers bezeichnet (denn bekanntlich ist die Bewegungsquantität = MC).

Je größer also der Radius der Bahn und die Masse des Körpers und je kleiner die Umlaufszeit, desto größer ist die Centrifugal- und also auch die Centripetalkraft. Warum kann man mit einer Schleuder weiter werfen, als mit der bloßen Hand, und zwar desto weiter, je länger der Faden und je schneller man die Schleuder dreht?

§ 38. **Trägheitsmoment.** Ist ein Körper an einem Stabe befestigt, welcher um einen seiner Punkte drehbar ist, und soll ihm eine Centralbewegung um diesen Punkt herum ertheilt werden durch eine Kraft, welche in irgend einem Punkte des Stabes angreift, so setzt er dieser Kraft einen desto größeren Widerstand entgegen, oder was dasselbe ist, sein Trägheitsmoment ist desto größer (s. § 10), je größer erstens seine Masse und zweitens seine Entfernung vom Drehpunkte ist. Trägheitsmoment.

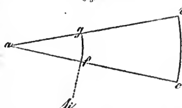


Fig. 36.

Es sei ac (Fig. 36.) der Stab, a sein Drehpunkt; in f sei ein Körper angebracht, auf welchen eine Kraft = p in der Richtung kf wirkt und ihn in s Secunden von f nach g bewegt. (Wir lassen die Erdschwere und die Hindernisse der Bewegung unberücksichtigt.) Versetzt man den Körper aus f in eine nmal so große Entfernung vom Drehpunkte, etwa nach c, so daß ac = n . af ist, so wird die Kraft, welche, unmittelbar auf ihn wirkend, ihn in s Secunden von c nach b treibt, = np sein, weil bc = n . gf; und soll die Kraft nicht in c, sondern in f angreifen, so muß sie nach den Hebelgesetzen $= n \cdot np = n^2 p$ sein. Ist aber die Masse des in c angebrachten Körpers mmal so groß, als die des vorher in f befindlichen, Bestimmung seiner Größe.

so wird die in f wirkende Kraft = mn^2p sein müssen, d. h. das Trägheitsmoment eines Körpers, welcher an einem Stabe in eine Centralbewegung versetzt werden soll, m Massen-Einheiten hat und um n Längen-Einheiten vom Centrum der Bewegung entfernt ist, ist n^2m mal so groß, als dasjenige eines Körpers, welcher eine Massen-Einheit hat und eine Längen-Einheit vom Centrum entfernt ist.

Man nennt daher das Product aus der Masse und dem Quadrate der Entfernung vom Centrum kurzweg: das Trägheitsmoment des Körpers in Beziehung auf den Drehpunkt.

Hieraus geht hervor: Erstens daß, wenn umgekehrt der in c befindliche Körper einmal in Bewegung ist und er durch eine in f wirkende Kraft wieder in Ruhe gesetzt werden soll, diese = n^2mp sein muß, wo p eine Kraft bezeichnet, welche eine Massen-Einheit in s Secunden eine Strecke = fg forttreibt. Zweitens folgt aus der obigen Betrachtung, daß, wenn der Körper in c in Bewegung ist, der Stab ac im Punkte f auf jeden Körper, welchen er etwa trifft, mit einer Kraft = n^2mp stößt.

Hiernach läßt sich berechnen, welche Wirkung Maschinenräder auf andere Maschinentheile ausüben, in welche die an ihrer Welle befindlichen Triebstöcke eingreifen.

Anwendungen der Central-bewegungs-Gesetze.

§ 39. Anwendungen. 1) Das Schwungrad an den Maschinen dient dazu, die Bewegung derselben gleichförmig zu machen. Damit dasselbe sich aber möglichst gleichförmig bewege, muß sein Trägheitsmoment möglichst groß sein; denn je größer dieses ist, desto weniger Einfluß haben die Hindernisse der Bewegung und die Unregelmäßigkeit der Triebkraft auf die Geschwindigkeit des Rades. Daher giebt man diesem einen möglichst großen Radius und eine möglichst große Umfangsmasse.

2) Aus der Verschiedenheit der Centrifugalkraft, welche die einzelnen Theile des Erdkörpers bei dessen Achsendrehung haben, läßt sich die Entstehung seiner Abplattung an den Polen erklären. Wie nämlich?

3) Die Bewegung des Mondes um die Erde und der Planeten um die Sonne sind Centralbewegungen. Die Bahnen sind Ellipsen, aber diese unterscheiden sich so wenig von Kreisen, daß man sie in vielen Fällen als solche betrachten kann.

Die Centripetalkraft bei den Centralbewegungen der Himmelskörper ist die Gravitation.

Newton vermuthete, die Centripetalkraft bei der Mondbewegung sei die Erdschwere und bewies dies auf folgende Weise: Er berechnete aus dem Radius der Mondbahn und dessen Umlaufszeit den Weg, welchen der Mond in einer Minute zurücklegen würde, wenn er der Centripetalkraft allein folgte; dann bestimmte er den Weg, den der Mond nach der Erde zu in einer Minute durchlaufen würde, wenn er der Erdschwere allein folgte, und fand beide Wege ganz übereinstimmend,

nämlich den einen = 15,5 Fuß,
den andern = 15,6 „

Führe diese Rechnung nach folgenden Daten aus. Der Umfang der Erde = 127448200 F. Aus diesem ist der Erdradius zu berechnen. Der Radius der Mondbahn = 60 Erdhalbmesser. Die Umlaufszeit des Mondes = 27 Tage, 7 Stunden, 43 Minuten.

Anleitung zur Berechnung. Der Weg, den der Mond in einer Minute durchlaufen würde, wenn er der Centripetalkraft allein folgte, ergiebt sich aus der Formel $p = \frac{2\pi^2 r}{t^2}$. Der Weg, welchen er, durch die Erdschwere allein getrieben, in einer Secunde zurücklegen würde, auf folgende Weise: Der Fallraum, in der Entfernung von einem Erdhalbmesser, beträgt nach der Formel $F = t^2 g$, $60^2 . 15 . 15$ F. Die Anziehung der Erde nimmt ab, wie das Quadrat der Entfernung zunimmt, ein Gesetz, welches bei den Pendelgesetzen näher erörtert werden wird, folglich ist der Fallraum in der Entfernung von 60 Erdhalbmessern $= \frac{60^2 . 15{,}5}{60^2} = 15{,}5$.

Als Newton diese Berechnung zum erstenmale anstellte, hatte er für den Erdhalbmesser, und also auch für die Entfernung des Mondes einen zu kleinen Werth in Rechnung gebracht und fand daher den Fallraum des Mondes größer, als den durch die Centripetalkraft bewirkten Weg. Umgekehrt von diesem kleineren Wege ausgehend, hätte der Fallraum einer Secunde auf der Erde 13 F. betragen müssen, während er doch über 15 F. beträgt. Diese Differenz veranlaßte ihn, seine Hypothese, die Erdschwere sei die bei der Mondbewegung thätige Centripetalkraft, ganz aufzugeben. Zwölf Jahre später, im Juni 1682, erfuhr er, daß Picard in Frankreich durch genaue Gradmessungen den Erdradius um $\frac{1}{7}$ größer gefunden habe, als man bis dahin nach früheren ungenauen Messungen angenommen hatte. Sogleich nahm Newton seine Rechnung wieder auf und hatte nun die Freude, seine Theorie vollständig bestätigt zu sehen.

Die Keppler'schen Gesetze für die Planetenbahnen.

4) Berechnet man für zwei Planetenbahnen das Verhältniß der Centripetalkräfte vermittelst der Formel $p = \frac{2\pi^2 r}{t^2}$, und dann dasselbe Verhältniß nach dem Gravitationsgesetze, daß sich die Anziehung der Sonne wie umgekehrt das Quadrat der Entfernung verhält, so erhält man das Gesetz:

Die Quadrate der Umlaufszeiten zweier Planeten verhalten sich, wie die Kuben ihrer mittleren Entfernungen,

$$\text{d. i. } \frac{T^2}{t^2} = \frac{R^3}{r^3}$$

Entwickelung dieser Formel. Die Entfernung eines Planeten von der Sonne sei r F., seine Umlaufszeit t Zeiteinheiten, die entsprechenden Größen eines andern Planeten seien R und T, so ist für den ersten $p = \frac{2\pi^2 r}{t^2}$, für den 2ten $P = \frac{2\pi^2 R}{T^2}$

$$\text{folglich } \frac{p}{P} = \frac{\frac{2\pi^2 r}{t^2}}{\frac{2\pi^2 R}{T^2}} = \frac{r T^2}{R t^2}$$

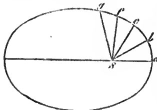
Ist nun die Gravitation für den ersten = g, für den zweiten = G, so ist $\frac{g}{G} = \frac{R^2}{r^2}$. Es ist aber g = p und G = P, also $\frac{rT^2}{Rt^2} = \frac{R^2}{r^2}$ d. i. $\frac{T^2}{t^2} = \frac{R^3}{r^3}$.

Dies wichtige Gesetz der Planetenbewegung, welches hier aus mechanischen Gesetzen entwickelt ist, hatte Keppler (1571 — 1630) aus astronomischen Beobachtungen abgeleitet. Es ist unter dem Namen des 3. Keppler'schen Gesetzes bekannt.

Die beiden ersten Keppler'schen Gesetze heißen:

1) Die Planetenbahnen sind Ellipsen, in deren einem Brennpunkte die Sonne steht.

Fig. 37.



2) Die Radienvectoren der Planetenbahnen beschreiben in gleichen Zeiten gleiche Räume.

(Fig. 37.) Befindet sich die Sonne in S, und sind ab, bc, ef, fg die Wege, welche der Planet in gleichen Zeiten durchläuft, so ist abS = bcS = efS = fgS.

Das Pendel.

Erklärung. Ein an einer Schnur oder einem Stabe so aufgehängter Körper, daß er sich ohne merkliche Hindernisse um seinen Aufhängepunkt drehen läßt, heißt ein Pendel.

Die Untersuchung der Pendelgesetze wird dadurch erleichtert, daß man die Schnur oder den Stab als eine schwerlose Linie, den Körper als einen Punkt betrachtet (physisches oder zusammengesetztes, mathematisches oder einfaches Pendel). Eine ganz kleine, schwere Kugel an einem dünnen Faden unterscheidet sich in ihrer Bewegung unmerklich von einem einfachen Pendel. Ein solches ist bei allen folgenden Untersuchungen gemeint.

Art der Pendelbewegung.

§ 40. 1) Das Pendel steht nur in verticaler Richtung in Ruhe.

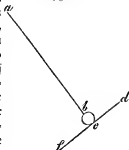
2) Wird es um einen beliebigen Bogen von der verticalen Richtung abgelenkt, so bewegt es sich mit beschleunigter Geschwindigkeit in dieselbe zurück und dann mit verzögerter Geschwindigkeit um denselben Bogen in derselben Zeit darüber hinaus, von da geht es wieder zurück u. s. w. fort.

(Fände keine Reibung und kein Luftwiderstand statt, so würde die Bewegung nie aufhören.)

ab (siehe nachstehende Fig. 38.) sei der Faden, an welchem der Körper bc hängt. Die Wirkung einer Kraft bleibt unverändert, wenn der Angriffspunkt in verschiedene Punkte ihrer Richtung versetzt wird (s. § 23).

Die Wirkung der Kraft, mit welcher der Faden den Körper hält, bleibt also unverändert, wenn man den Angriffspunkt von b nach c versetzt, oder wenn man annimmt, der Körper ruhe in dem Augenblicke, in welchem der Faden die Richtung ab hat, auf der schiefen Ebene df, welche senkrecht auf ac steht. So kann man für alle verschiedenen Richtungen des Pendels, welche er während seiner Schwingung hat, annehmen, er ruhe auf einer Ebene, welche senkrecht auf der jedesmaligen Richtung des Fadens steht; oder was dasselbe ist, er falle auf unendlich vielen, unendlich kleinen schiefen Ebenen herab, welche die Mantelfläche eines Cylinders bilden, in dessen Achse der Punkt a liegt.

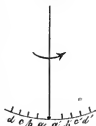
Fig. 38.



Da nun der Pendelkörper auf schiefen Ebenen herabfällt, bis der Faden in die verticale Lage kommt, so muß bis dahin seine Bewegung eine beschleunigte sein; von da wird er durch das Beharrungsvermögen auf schiefen Ebenen hinaufgetrieben, also muß seine Bewegung eine verzögerte werden.

Da die erste Ebene a (Fig. 39.) auf der einen Seite der Verticalen dieselbe Neigung hat, wie die erste auf der andern Seite a′, die zweite b dieselbe Neigung wie b′, die dritte c dieselbe Neigung wie c′ hat u. s. w., so muß er auf Ebene a′ ebensoviel an Geschwindigkeit verlieren, als er auf der Ebene b gewonnen hat u. s. w.

Fig. 39.



Hieraus geht hervor, daß der Pendelkörper, um alle Geschwindigkeit wieder zu verlieren, welche er beim Herabfallen gewonnen hat, eben so viele schiefe Ebenen in die Höhe steigen muß, als er herabgefallen ist, daß also der Bogen, welchen er beim Hinaufsteigen durchläuft, ebenso groß ist, als der Bogen, den er beim Herabfallen beschreibt. Ferner, daß das Aufsteigen ebenso lange dauert, als das Herabfallen, und endlich, daß er beim Aufsteigen in jeder Höhe dieselbe Geschwindigkeit hat, als er in derselben Höhe beim Herabfallen hatte.

Erklärung. Der Winkel, den das Pendel in seiner höchsten Lage mit der Verticalen macht, heißt Ausschlagswinkel, die Bewegung vom höchsten Punkte bis wieder zum höchsten Punkte eine Schwingung (Oscillation), die Zeit, welche es dazu gebraucht, Schwingungszeit.

§ 41. 1) Die Schwingungszeit des Pendels ist unabhängig von der Materie und der Masse des Pendelkörpers. *Die Schwingungszeit ist unabhängig: 1) von der Masse des Pendelkörpers;*

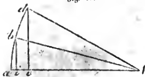
Denn alle Materien und alle Massen fallen auf denselben Ebenen gleich schnell.

2) Die Schwingungszeit kann für alle Ausschlagswinkel, von 0 bis etwa 4—5 Grad, als gleich angenommen werden. *2) von dem Ausschlagswinkel.*

Um den Satz zu beweisen, sind folgende zwei Hülfssätze vorauszuschicken:

1) Auf schiefen Ebenen, deren Neigungswinkel 4 — 5° nicht übersteigen, verhalten sich die Fallräume gleicher Zeiten wie die Neigungswinkel.

Fig. 40.



Gesetzt, bf u. df (Fig. 40.) sind zwei schiefe Ebenen, deren Neigungswinkel höchstens 4—5° betragen, so kann man ohne merklichen Fehler Bogen ad = dem Lothe dc und ebenso Bogen ab = Loth bi setzen. Ist nun $\angle$ dfa = n . bfa, so ist auch Bogen da = n . ba und also auch Loth dc = n . bi. Der Fallraum in t Secunden auf der Ebene df = $\frac{dc}{df} \cdot t^2g$, auf der Ebene bf = $\frac{bi}{bf} \cdot t^2g$. Da nun dc = n . bi, so ist der Fallraum auf df n mal so groß, als der auf bf.

2) Bei jeder Stellung des Pendels ist der Ausschlagswinkel gleich dem Neigungswinkel der schiefen Ebene, auf welcher der Pendelkörper bei dieser Stellung ruht.

Fig. 41.



Fig. 42.



Denn es sei (Fig. 41.) cx eine Verticale, cm eine beliebige Lage des Pendels. In dieser ruht der Körper auf der schiefen Ebene mv, und es ist leicht zu beweisen, daß $\angle \alpha = \angle$ b ist. Sind nun (Fig. 42.) bf und bc zwei gleich lange Pendel und der Ausschlagswinkel abc = n . abf, so hat der Pendelkörper c einen n mal so großen Weg bis zur Verticalen ab zu durchlaufen, als der Pendelkörper f, er fällt aber auch n mal so schnell, als f, also die Schwingungszeit für beide Pendel gleich.

Die Schwingungszeit ändert sich: mit der Pendellänge.

§ 42. 1) Die Schwingungszeit verändert sich mit der Länge des Pendels, und zwar verhalten sich die Schwingungszeiten, wie die Quadratwurzeln aus den Pendellängen.

Fig. 43.



Beweis: Gesetzt, die Pendellänge ac (Fig. 43.) ist n mal so groß, als die Pendellänge ab, so ist Bogen cg auch n mal so groß, als Bogen bf. Folglich hat der Pendelkörper c einen n mal so großen Weg zurückzulegen, als b. Die kleinen schiefen Ebenen, aus denen der Bogen bf besteht, haben dieselbe Neigung, als die Ebenen des Bogens cg. b fällt also auf schiefen Ebenen von derselben Neigung, als die, auf welchen c fällt. Damit aber ein Körper einen n mal so großen Raum durchfällt, ist $\sqrt{n}$ mal so viel Zeit nöthig.

mit der Stärke der Anziehung.

2) Die Schwingungszeit richtet sich nach der Stärke der Anziehung, und zwar findet man durch höhere Rechnung

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{2g}},$$

wo t die Schwingungszeit, l die Pendellänge und g den Fallraum der ersten Secunde bezeichnet.

Mittelst dieser Formel läßt sich auch l finden, wenn t und g bekannt, und g finden, wenn l und t bekannt sind. Was heißt das in Worten?

Die hier entwickelten Gesetze gelten, wie schon angeführt, streng genommen nur für ein Pendel, das aus einer schwerlosen Linie mit einem schweren Punkte besteht. Befänden sich aber an einer solchen Linie zwei schwere Punkte, etwa (Fig. 43.) die Punkte b und c, so würde ein solches Pendel, welches nun ein zusammengesetztes wäre, langsamer schwingen, als ein einfaches, dessen Länge gleich ab, und schneller als ein solches von der Länge ac, weil der Punkt b die Bewegung des Punktes c beschleunigte, und dieser die von b verzögerte. Seine Schwingungszeit würde demnach so groß sein, als die eines einfachen Pendels, dessen schwerer Punkt zwischen b und c läge. Schwingungspunkt.

Diesen Punkt eines zusammengesetzten Pendels, dessen Entfernung vom Aufhängepunkte gleich der Länge desjenigen einfachen Pendels ist, welches mit dem zusammengesetzten gleiche Schwingungszeit hat, nennt man den Schwingungspunkt.

Alle unsere Pendel bestehen nun aus unendlich vielen schweren Theilchen, von denen die oberen die Bewegung der unteren beschleunigen, die unteren die der oberen verzögern. Den Schwingungspunkt eines solchen Pendels zu bestimmen, ist eine Aufgabe, deren Lösung uns zu weit führen würde; nur das sei bemerkt, daß der Schwingungspunkt nicht der Schwerpunkt ist.

Bei einem Pendel, welches aus einem dünnen Faden und einer kleinen schweren Kugel besteht, liegt der Schwingungspunkt unmerklich wenig unter dem Schwerpunkte. Vermittelst eines solchen läßt sich der Schwingungspunkt jedes anderen Pendels praktisch finden.

Auf welche Weise?

Anwendung des Pendels.

§ 43. 1) Da die Schwingungen des Pendels gleichzeitig sind, so wird es zur Zeitmessung benutzt. Zeitmessung durch das Pendel.

Die Pendeluhr. Das gezähnte Rad A (s. nachst. Fig. 44.) wird mit seiner Welle durch ein größeres und ein kleineres Gewicht in Bewegung gesetzt, welche an einer um die Welle geschlungenen Schnur hängen. Der Körper ab wird durch das Pendel so in Bewegung gesetzt, daß bei jeder Schwingung die beiden Enden a und b abwechselnd in den folgenden Zahn des Rades eingreifen, so daß das Rad bei je 2 Schwingungen des Pendels um einen Zahn weiter rückt. Hat also das Rad 30 Zähne und ist das Pendel ein Secundenpendel, so ist der an der Stirn der Welle angebrachte Zeiger ein Secundenzeiger.

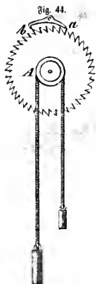


Fig. 44.

Setzt nun die Welle des Rades A durch ein Getriebe ein zweites Wellrad so in Bewegung, daß dieses sich ein Mal herumdreht, wenn jenes sich 60 mal herumgedreht hat, so ist der Zeiger, welcher an der Welle dieses zweiten Rades angebracht ist, ein Minutenzeiger. Eine dritte Welle, welche durch das zweite Rad so in Bewegung gesetzt wird, daß auf 12 Umdrehungen des zweiten eine Umdrehung des dritten kommt, trägt den Stundenzeiger. Wenn aber die Schnur, an welcher die Gewichte hängen, wie hier angegeben, um die Welle des ersten Rades gewunden wäre, so müßte sie sehr lang sein, wenn die Uhr 24 Stunden, ohne wieder aufgezogen zu werden, gehen sollte. Man schlingt sie daher um die Welle des letzten Rades, durch welches dann die übrigen Räder in Bewegung gesetzt werden. Was hat man zu thun, wenn eine Pendeluhr zu rasch oder zu langsam geht?

Die durch die Verschiedenheit der Temperatur hervorgebrachte Verkürzung oder Verlängerung des Pendels an Uhren wird durch eine Einrichtung des Pendels beseitigt, wie sie Figur 45 zeigt. Die mit e bezeichneten Stäbe bestehen aus einerlei Metall, die mit z bezeichneten aus einem andern Metall, welches sich bei derselben Wärmezunahme so viel mehr ausdehnt, als das erstere, daß die Länge des Pendels stets unverändert bleibt. — Compensationspendel.

Fig. 45.



2) Durch das Pendel läßt sich noch besser als durch den freien Fall nachweisen, daß alle Körper gleich schnell fallen. Wie so?

Bestätigung des Newton'schen Gravitationsgesetzes.

3) Vermittelst einer von Cavendish construirten Pendelvorrichtung läßt sich die Richtigkeit des von Newton 1680 als Hypothese aufgestellten Gravitationsgesetzes nachweisen:

Fig. 46.

Jeder Körper zieht andere Körper an; die Stärke dieser Anziehung verhält sich bei gleichen Entfernungen, wie die Massen und bei gleichen Massen, wie umgekehrt die Quadrate der Entfernungen; folglich überhaupt wie die Massen, dividirt durch die Quadrate der Entfernungen. (Unter Entfernung der Körper ist die Entfernung ihrer Schwerpunkte zu verstehen.)

$$\frac{G}{g} = \frac{\frac{M}{E^2}}{\frac{m}{e^2}}$$



Der Apparat von Cavendish besteht aus zwei Metallkugeln (Fig. 46.), jede einige Ent-

ner schwer, zwischen denen ein horizotales Stäbchen mit zwei kleinen Kugeln an einem langen dünnen Faden hängt. Das Stäbchen steht in Ruhe, wenn die Mittelpunkte der vier Kugeln in gerader Linie liegen; es macht Pendelschwingungen, wenn es aus dieser Lage gebracht wird. Aus der Länge und der Schwingungszeit des Stäbchens läßt sich mittelst der Formel $t = \pi \sqrt{\frac{l}{2g}}$ die Anziehungsstärke der beiden Kugeln berechnen. Es ist nämlich $g = \frac{\pi^2 l}{2t^2}$. Aendert man nun die Massen und die Entfernungen der beiden großen Kugeln von den kleineren, so findet man, daß sich damit die Stärke der Anziehung in dem oben angegebenen Verhältnisse ändert.

4) **Mittelst des Pendelgesetzes und mit Hülfe des Apparates von Cavendish läßt sich die Masse der Erde bestimmen.** Bestimmung der Masse des Erdkörpers;

Die Anziehungskraft der beiden Kugeln ist bekannt, nämlich $g = \frac{\pi^2 l}{2t^2}$. Ebenso ist die Anziehungsstärke der Erde G bekannt (15 Fuß). Nennt man also die Anziehungskraft der Erde A und die der Kugeln a, so ist

$$\frac{A}{a} = \frac{G}{\frac{\pi^2 l}{2t^2}} = \frac{2Gt^2}{\pi^2 l}.$$

Ist ferner die Entfernung der großen Kugel von der kleinen = e F., und ihre Masse = m Ctr., der Erdradius = E und die Masse der Erde = x Ctr., so ist nach dem Gravitationsgesetze

$$\frac{A}{a} = \frac{\frac{x}{E^2}}{\frac{m}{e^2}} = \frac{x e^2}{m E^2}.$$

$$\text{Folglich ist } \frac{2Gt^2}{\pi^2 l} = \frac{x e^2}{m E^2}.$$

In dieser Gleichung sind alle Größen bekannt, außer x, die Masse der Erde; folglich läßt sich diese finden.

Aufgabe: Wie groß ist die Masse der Erde, wenn jede der großen Kugeln = 340 Pfd. und der Radius derselben = $\frac{2}{3}$ Fuß, ferner die Länge des Stäbchens = $\frac{1}{2}$ Fuß, die Schwingungszeit = 10 Minuten, der Fallraum der ersten Secunde = 15 Fuß und der Erdradius = 860 Meilen.

Auf diese Weise hat man die Masse der Erde ungefähr hunderttausend Trillionen Ctnr. gefunden. Da man nun auch die Größe der Erde kennt, so läßt sich auch ihre durchschnittliche Dichtigkeit berechnen; sie beträgt 5,44. Die mittlere Dichtigkeit der uns bekannten obersten Erdrinde beträgt nach ungefährer Schätzung 1,6; folglich muß die Erde im Innern bei Weitem dichter sein, als an der Oberfläche, was für die Ansicht spricht, daß die Erde sich früher in flüssigem Zustande befunden habe, wobei die schwersten Bestandtheile nach unten gesunken sind.

der Masse der Sonne; 5) Da man aus der Umlaufszeit eines Planeten um die Sonne und seiner Entfernung von derselben ihre Anziehungsstärke berechnen kann (§ 37), so läßt sich auch die Masse der Sonne berechnen.

Welches ist der Gedankengang dieser Rechnung?

Ferner kann man aus ihrem scheinbaren Durchmesser und ihrer Entfernung ihr Volumen und daher ihre Dichtigkeit finden. Die Sonnenmasse = 350,000 mal so groß, als die der Erde. Ihr Radius = 112 Erdhalbmesser; ihr durchschnittliches specifisches Gewicht = $1\frac{1}{3}$.

Auf gleiche Weise läßt sich die Masse eines Planeten aus der Umlaufszeit und der Entfernung eines Trabanten desselben berechnen.

der Gestalt der Erde. 6) Vermittelst des Pendels ist man im Stande, die Gestalt der Erde zu bestimmen. Die Erfahrung lehrt nämlich, daß dasselbe Pendel nicht an allen Orten der Erde gleich schnell schwingt. Daraus geht hervor, daß die Anziehung der Erde nicht an allen Orten gleich ist; und daraus, daß man an dem einen Orte dem Mittelpunkte der Erde näher ist, als an dem andern. Da sich nun aus der Länge des Pendels und aus der Schwingungszeit die Stärke der Erdanziehung berechnen läßt, so kann man mittelst des Gravitationsgesetzes finden, wie vielmal näher man dem Mittelpunkte an dem einen Orte ist, als an dem andern. Kennt man daher den Radius der Erde für den einen Ort, so kennt man ihn auch für den andern.

Gesetzt, für den einen Ort A sei vermittelst des Pendels der Fallraum der ersten Secunde g = 15 F., für den Ort B = 16 F. gefunden und die Entfernung des Ortes A vom Mittelpunkte der Erde sei = 860 Meilen, die Entfernung des Ortes B = x Meilen, so ist $\frac{16}{15} = \frac{860^2}{x^2}$, woraus sich x ergiebt.

Bemerkungen. 1) Bei der angedeuteten Rechnung ist jedoch noch Rücksicht auf die durch die Achsendrehung der Erde erzeugte Centrifugalkraft zu nehmen, welche an verschiedenen Orten verschieden ist, und welche die Erdanziehung vermindert.

2) Oft stimmt die durch das Pendel gefundene Länge des Erdradius nicht mit der durch astronomische Beobachtungen gefundenen ganz überein. Man schreibt diese Differenz den lokalen Verschiedenheiten des Bodens zu.

Der Erdradius am Aequator = 20,193,783 Prß. F., an den Polen = 20,128,359 Preuß. Fuß. Die Länge des Secundenpendels in unsern Gegenden ist ungefähr $40\frac{1}{2}$ Preuß. Zoll.

Historisches. Das Gesetz der Gleichzeitigkeit der Pendelschwingungen wurde von Galiläi (1564—1642) entdeckt. Er soll, noch ein Knabe, in dem Dome zu Pisa durch die Schwingungen einer am Gewölbe hängenden Lampe auf dieses Gesetz geführt worden sein. Huyghens (1660) wandte das Pendel zur Zeitbestimmung an. Daß das Pendel nicht an allen Orten der Erde gleich schnell schwingt, fand der französische Astronom Richer. Als er nämlich im Jahre 1672 eine Reise nach Cayenne (5° nördlicher Breite) machte, ging seine Pendeluhr täglich um $2\frac{1}{2}$ Minute zu langsam. Er mußte daher das Pendel um $\frac{5}{4}$ Linien verkürzen. Als er nach Paris zurückkam, ging die Uhr wieder um $2\frac{1}{2}$ Minute zu schnell.

C. Gleichgewichts- und Bewegungsgesetze der flüssigen Körper.

Alle Gleichgewichts- und Bewegungsgesetze, welche für feste Körper gelten, und bei welchen der Zusammenhang der Theile außer Betracht bleibt, z. B. die Fallgesetze, gelten auch für die flüssigen Körper. Es brauchen also hier nur diejenigen Erscheinungen betrachtet zu werden, bei welchen die leichte Verschiebbarkeit der Theile von Einfluß ist.

§ 44. Die Oberfläche einer ruhenden Flüssigkeit bildet eine horizontale Ebene, oder genauer, einen Kugelabschnitt, dessen Mittelpunkt der Mittelpunkt der Erde ist. Die Oberfläche einer ruhenden Flüssigkeit ist eine horizontale Ebene.

In Gefäßen, überhaupt bei kleiner Oberfläche der Flüssigkeit, wo man die Richtungen der Erdschwere für die einzelnen Flüssigkeitstheilchen als parallel annehmen kann, ist die Oberfläche eine horizontale Ebene.

Fig. 47.



Denn gesetzt, es befände sich Fig. 47 auf der Oberfläche der Flüssigkeit eine Erhöhung c a b f, so würden die Theile über ab in vertikaler Richtung auf die zwischen ab und cf liegenden drücken, und diese würden nach beiden Seiten hin ausweichen. (Eine solche Erhöhung entsteht bisweilen, wenn man dem Gefäße einen Stoß giebt.) Die Oberfläche einer Flüssigkeit kann also keine Erhöhung behalten. — Beweise in derselben Art, daß sie keine Vertiefung behalten kann, wenn durch irgend eine Veranlassung eine solche entstanden ist, und daß die Oberfläche keine schiefe Ebene sein kann. An den Rändern der Gefäße ist die Richtung der Oberfläche wegen der Capillar-Attraction oder Depression eine etwas andere.

Alle größeren Wasserflächen, z. B. die Oberflächen der Seen und der Meere, sind Kugelabschnitte, deren Mittelpunkt der Mittelpunkt der Erde ist, d. h. die obersten Theile liegen alle gleich weit vom Mittelpunkte; denn läge irgend eine Wassermenge weiter vom Mittelpunkte der Erde entfernt, als eine danebenliegende, so bildete erstere eine Erhöhung. Deren alleroberste Theile würden dann in der Richtung des Erdradius auf die zunächst darunter liegenden drücken, und diese müßten nach allen Seiten hin ausweichen, also abfließen.

Eine ähnliche Schlußreihe macht es klar, warum frei fallende Flüssigkeitstheilchen kugelförmige Tropfen bilden.

Die Oberfläche des ruhenden Wassers heißt **Wasserspiegel, Niveau.**

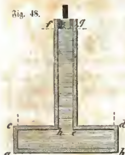
Die Oberfläche der Flüsse ist eine schiefe Ebene.

Druck der Flüssigkeiten auf die Umfassungswände der Gefäße.

§ 45. **Erfahrungssatz.** Ist eine Flüssigkeit von allen Seiten eingeschlossen, und es wird auf eine Stelle derselben ein Druck Der Druck pflanzt sich gleichmäßig fort.

ausgeübt, so pflanzt sich derselbe gleichmäßig fort, d. h. jeder Theil der Umfassungswände, so wie jede Flüssigkeitsschicht, die gleiche Größe mit der gedrückten Stelle hat, erleidet auch denselben Druck als diese.

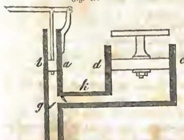
Fig. 48.



Wird das in dem Gefäße abdefg Fig. 48 eingeschlossene Wasser durch den Kolben fg mit einer Kraft von 20 Pfd. gedrückt, und ist die Grundfläche des Kolbens = 1 Quadratzoll, so erleidet jeder Quadratzoll der Umfassungswände einen Druck von 20 Pfd. Ist eine Flasche so zugepfropft, daß der Pfropf auf die darin befindliche Flüssigkeit stößt, oder daß nur ein wenig Luft zwischen jenem und dieser ist, so bedarf es nur eines geringen Schlages auf ersteren, um die Flasche zu zersprengen.

Die hydraulische Presse (Fig. 49), eine weite und eine enge Röhre, welche durch eine dritte in Verbindung stehen, und in deren jeder sich ein Kolben befindet. Wird der Kolben ab mit einer Kraft von 1 Ctr. nach unten gedrückt, und hat der Kolben cd eine m mal so große Grundfläche, als ab, so erleidet cd einen Druck von m Ctr. nach oben.

Fig. 49.



Da aber durch einmaliges Niederdrücken des Kolbens ab der Kolben dc sich nur sehr wenig in die Höhe bewegt, so ist die engere Röhre in ein Saugrohr verlängert, welches in einem Gefäße mit Wasser steht, und bei g und k ein Ventil angebracht. Was geschieht nun bei öfterem Auf- und Niederdrücken des Kolbens ab? (s. § 60, 8.)

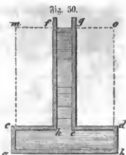
Aus dem oben angeführten Versuche erkennt man außer der gleichmäßigen Fortpflanzung des Druckes, noch die Eigenthümlichkeit der flüssigen Körper, daß sie sich fast gar nicht zusammendrücken lassen.

Aus jenem Gesetze der gleichmäßigen Fortpflanzung des Druckes ergiebt sich die Stärke des Druckes, den eine Flüssigkeit auf den Boden und die Seitenwände ausübt.

Größe des Bodendruckes. § 46. Der Druck einer Flüssigkeit auf den Boden des Gefäßes ist gleich dem Gewichte eines Prismas aus dieser Flüssigkeit, dessen Grundfläche gleich dem Boden und dessen Höhe gleich der Entfernung des Bodens vom Niveau ist.

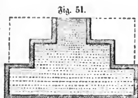
Dies gilt für Gefäße jeglicher Form, sowohl für Gefäße mit verticalen Seitenwänden, als auch solche, welche sich nach unten erweitern oder verengern.

a. Der Beweis für Gefäße mit verticalen Seitenwänden ist leicht.



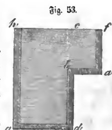
b. Beweis für Gefäße, welche sich nach unten erweitern. Ein Wassergefäß habe die Form Fig. 50, fg sei das Niveau, so wird die Wasserfläche eh durch die Schwere des Wasserprismas ef gedrückt; folglich erleidet auch jeder Theil des Bodens ab, dessen Größe = he ist, denselben Druck. Außerdem erleidet jede solche Stelle des Bodens noch einen Druck durch die Schwere des in abdc befindlichen Wassers, also noch einen Druck gleich der Schwere eines Wasserprismas, dessen Grundfläche = eh und dessen Höhe = bd ist u. s. w.

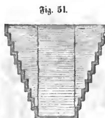
Anmerkung. In gleicher Weise läßt sich zeigen, daß die Stelle de einen Druck erleidet, welcher gleich der Schwere eines Flüssigkeitsprismas ist, dessen Grundfläche = de und dessen Höhe = eg ist.





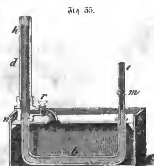
Ebenso läßt sich der Satz für Gefäße dieser Form (Fig. 51) beweisen. Gefäße, welche sich allmählich nach unten erweitern (Fig. 52), können als solche betrachtet werden, deren Seitenwände unendlich viele solche Abstufungen haben, wie das vorangehende deren zwei hat.



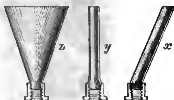


c. Beweis für Gefäße, welche sich nach unten verengen. In dem Gefäße (Fig. 53) wird das Wasserprisma abef von der Fläche ab getragen und nur das Prisma chdg drückt mit seiner Schwere auf den Boden des Gefäßes, auf dg.

Gefäße, deren Wände sich allmälig nach unten verengen, können als solche betrachtet werden, deren Wände unendlich viele solche Abstufungen haben (Fig. 54).



Beweis durch den Versuch, daß der Bodendruck blos von der Größe desselben und seine Entfernung vom Niveau, nicht von der Form des Gefäßes abhängig ist: Fülle die Röhre abc (Fig. 55) mit Quecksilber. Schraube darauf bei a das Gefäß d und auf der andern Seite die Röhe e an, fülle d mit Wasser und merke mittelst des Schiebers m, bis zu welcher Höhe dann das Quecksilber in der



Röhe c gestiegen ist. Lasse dann durch den Hahn r das Wasser ab, schraube statt d die Gefäße z, y, x auf, und fülle sie bis zu gleicher Höhe mit Wasser, wie d, so steigt auch das Quecksilber in e immer bis zu derselben Höhe.

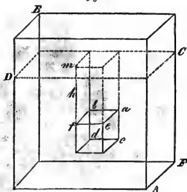
Hiernach ist der Bodendruck in Gefäßen mit verticalen Seitenwänden ebenso groß, in unten sich erweiternden Gefäßen größer, in unten sich verengenden Gefäßen kleiner, als das Gewicht der darin befindlichen Flüssigkeitsmenge.

Daraus scheint hervorzugehen, daß man, um eine Flüssigkeit in einem sich nach unten erweiternden Gefäße zu tragen, mehr Kraft anwenden müsse, als das Gewicht der Flüssigkeit beträgt. Warum ist das nicht der Fall?

Größe des Druckes auf die Seitenwände.

§ 47. Der Druck auf irgend eine Stelle der Seitenwand ist gleich dem Gewichte eines Flüssigkeits-Prismas, das zur Grundfläche die gedrückte Stelle und zur Höhe die Entfernung des Schwerpunktes derselben vom Niveau hat.

Fig. 56.



(Fig. 56.) AB sei ein Gefäß mit einer Flüssigkeit, deren Niveau CD. Es soll der Druck auf das Quadrat abcd berechnet werden, welches in der Gefäßwand FB liegt, und dessen Flächeninhalt = g □F. sei.

abcd kann als eine Seitenfläche des Flüssigkeitswürfels cf betrachtet werden. Auf die Oberfläche dieses Würfels, nämlich auf abfe, drückt ein Flüssigkeitsprisma, dessen Grundfläche abfe = g und dessen Höhe = fm = h F. ist, also eine Flüssigkeitsmenge von gh Cub.-Fuß, und da sich der Druck gleichmäßig fortpflanzt, so ist auch der Druck auf abdc = dem Gewicht von gh Cub.-F. Flüssigkeit.

Außerdem erleidet aber das Quadrat abcd noch einen Druck von der Flüssigkeitsmenge des Würfels cf, indem die oberen Theile desselben auf die unteren drücken. Ist aber das Quadrat abcd und also auch der Würfel cf unendlich klein, so kann dieser Druck vernachlässigt werden, und es ist der Druck auf abcd bloß gh Cub.-F. Flüssigkeit. Ebenso ist der Druck auf einen horizontalen, unendlich schmalen Streifen ab (umsteh. Fig. 57) der Seitenwand, wenn sein Flächeninhalt = s □F. und seine Entfernung vom Niveau = h F. ist, = der Schwere von sh Cub.-Fuß Flüssigkeit. Denn denkt man sich den Streifen ab in unendlich kleine Quadrate zerlegt, von denen jedes = g sei, so ist der Druck auf jedes

derselben = dem Gewichte von g h Cub.-F. Flüssigkeit; und enthält der Streifen n solcher Quadrate, so daß ab = n . g, so ist der Gesammtdruck auf ab = n . gh, d. i. = sh Cub.-F. Flüssigkeit.

Fig. 57.

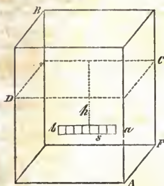
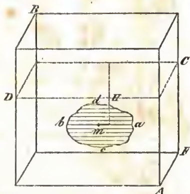


Fig. 58.



Es soll nun der Druck auf eine beliebige Fläche der Seitenwand FB, etwa auf adbc (Fig. 58), berechnet werden. Ist m der Schwerpunkt von adbc und ab eine durch m gelegte horizontale Linie, so müssen die beiden Theile adb und acb, als Hebelsarme betrachtet, einander das Gleichgewicht halten (nach § 27, 1.), d. h. die Fläche abcd würde, wenn man sie auf eine feste Linie, welche die Richtung ab hat, legte, im Gleichgewicht stehen; denkt man sich demnach die Fläche adbc durch horizontale Linien in unendlich schmale Streifen getheilt, so müssen die statischen Momente der über ab liegenden Streifen zusammen den statischen Momenten der unter ab liegenden Streifen gleich sein. Ist nun jeder folgende Streifen von ab um h F. weiter entfernt, als jeder vorangehende, und sind die Flächenräume der Streifen über ab = g' g'' g''' .... die Flächenräume der Streifen unter ab = g' g'' g''' .... so sind die statischen Momente der oberen Streifen = g' h, g'' 2 h, g''' 3 h, g'''' 4 h .... die der unteren = g' h, g'' 2 h, g''' 3 h, g'''' 4 h ..... Folglich g' h + g'' 2h + g''' 3h + g'''' 4h ..... = g' h + g'' 2h + g''' 3h + g'''' 4h ...

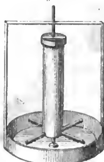
Der Flüssigkeitsdruck auf den ersten, über ab liegenden Streifen ist aber = dem Gewichte von g' (H — h) Cub.-F. Flüssigkeit, auf den zweiten = dem von g'' (H — 2h) Cub.-F., auf den dritten g''' (H — 3h) Cub.-F. u. s. w., und auf die unter ab liegenden Streifen ist der Druck ebenso g' (H + h), g'' (H + 2h), g''' (H + 3h) u. s. f.

Folglich ist der Gesammtdruck auf die Fläche abcd = g' (H — h) + g'' (H — 2h) + g''' (H — 3h) .... + g' (H + h) + g'' (H + 2h) + g''' (H + 3h) ...

D. i. = g' H + g'' H + g''' H ..... — (g' h + g'' 2h + g''' 3h .....) + g' H + g'' H + g''' H .... + (g' h + g'' 2h + g''' 3h ...)

$$\text{D. i.} = (g' . + g'' + g''' \ldots + g\ \text{F.} + g'' + g''' \ldots) H + o.$$
$$\text{D. i.} = GH\ \text{Cub.-F.},$$
wo G den Flächenraum von abcd bezeichnet.

Fig. 59.



Wie groß ist der Wasserdruck auf ein Schleußenthor, welches 12 Fuß breit und an welchem der obere Wasserspiegel 6 Fuß über dem unteren steht, wenn ein Cub.-Fuß Wasser 66 Pfd. wiegt? Wie groß ist der Druck auf jedes der Bretter, welche man bei Wassersgefahr auf die Dämme aufsetzt, wenn das Brett 1 Fuß hoch und 6 Fuß lang ist?

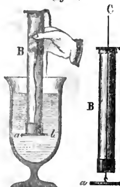
Das Segnersche Wasserrad. (Fig. 59).

Der Druck auf die Seitenwände eines Gefäßes ist also unabhängig von dessen Weite. Die Gesetze über Boden- und Seitendruck lassen sich hiernach in folgende zusammenfassen:

Jeder Theil der Umfassungswände eines Gefäßes erleidet von der darin befindlichen Flüssigkeit einen Druck, welcher gleich ist der Schwere eines Flüssigkeitsprismas, dessen Grundfläche gleich der gedrückten Stelle, und dessen Höhe gleich der Entfernung des Schwerpunkts derselben von dem Niveau ist.

Druck auf die Flächen eines eingetauchten Körpers. Dasselbe gilt für die Flächen eines jeden, in eine Flüssigkeit getauchten Körpers und für jede Flüssigkeitsschicht.

Fig. 60.



Wird die abgeschliffene Glasplatte ab (Fig. 60) vermittelst des Fadens C an den Glascylinder B gedrückt, und nun der Cylinder in Wasser getaucht, so kann man den Faden los lassen, ohne daß ab zu Boden sinkt. Gießt man nun Wasser in den Cylinder, so sinkt ab, wenn das Wasser in B das Niveau des im Gefäß befindlichen Wassers fast erreicht hat.

Wie groß ist der Druck auf den Boden eines Schiffes, wenn sein Flächeninhalt = g Quadratfuß und das Schiff k Fuß tief im Wasser geht und ein Cub.-Fuß Seewasser 75 Pfd. wiegt? Die Seethiere, die Leute in den Taucherglocken erleiden einen starken Druck.

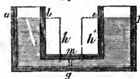
Hieraus lassen sich nun die Erscheinungen erklären, welche eintreten, wenn man zwei mit Flüssigkeiten gefüllte Gefäße in Verbindung setzt; zweitens, wenn man in den Boden oder die Seitenwand eines Gefäßes eine Oeffnung macht, und drittens, wenn man einen festen Körper in eine Flüssigkeit taucht.

Communicirende Gefäße. § 48. **Communicirende Gefäße.** Erklärung. Gefäße, welche so in Verbindung stehen, daß eine Flüssigkeit aus dem einen in das andere fließen kann, heißen **communicirende Gefäße.**

1) Sind communicirende Gefäße mit einerlei Flüssigkeit gefüllt, so steht das Niveau in ihnen in derselben Horizontal-Ebene. Niveauhöhe gleichartiger Flüssigkeiten.

Beweis: ab und cf (Fig. 61.) seien die beiden Niveaus, mg eine verticale Flüssigkeitsschicht in der Verbindungsröhre; deren Schwerpunkt sei von ab um h, von cf um h′ entfernt, so ist der Druck auf die eine Seite von mg = mg . h, auf die andere Seite = mg . h′. Da nun die Flüssigkeit in Ruhe steht, so muß mg . h = mg . h′ sein, folglich h = h′.

Fig. 61.

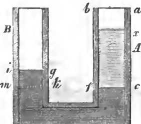


Wasserleitungen. In den Lampen steht das Oel im Kasten und in der Dochthülse gleich hoch. Standmesser, gläserne Röhren, welche an Gefäße angesetzt sind, um den Stand der Flüssigkeiten in ihnen zu erkennen. Standbrunnen, in denen das Wasser stets dieselbe Höhe hat, stehen gewöhnlich mit einem nahen Flusse in Verbindung, z. B. der Soolbrunnen in Halle. Bei großem Wasser füllen sich die in der Nähe der Flüsse liegenden Keller. Warum gewöhnlich erst dann, wenn das Wasser im Flusse zu fallen beginnt? Grundwasser auf Wiesen, die durch Dämme geschützt sind.

2) Befinden sich in communicirenden Gefäßen verschiedene Flüssigkeiten, so verhalten sich ihre Höhen umgekehrt wie ihre specifischen Gewichte. ungleichartiger Flüssigkeiten.

Beweis. (Fig. 62.) Die Verbindungsröhre der beiden Gefäße A und B sei mit Quecksilber gefüllt, welches in dem Gefäße A bis cf, in B bis gi stehe; von cf bis x enthalte das Gefäß A Soole. Denkt man sich die Ebene cf bis zum Gefäße B erweitert, so steht das Quecksilber unter cf und km im Gleichgewicht (nach Gesetz 1). Der Druck der Soole auf die Fläche cf beträgt, wenn ihre Größe = q Quadratzoll, ihre Entfernung von x = h Zoll, das specifische Gewicht der Soole = s, das Gewicht eines Cub.-Zolls Wasser = w Pfd. ist, q . h . s . w Pfd.

Fig. 62.



Dieser Druck pflanzt sich gleichmäßig auf die Fläche km fort. Er beträgt also auf diese, wenn sie r mal so groß ist, als cf, r . q . h . s . w Pfd. Der Druck der Quecksilbermenge ki auf km beträgt aber, wenn die Entfernung zwischen km und gi = H Z. und das specifische Gewicht des Quecksilbers = S ist, rq . H . S . w Pfd. Sollen nun die Flüssigkeiten in Ruhe sein, so muß der Druck auf die Fläche km von unten und von oben derselbe sein. Es muß also sein:

$$rqhsw = r . q . HS . w.$$

$$\text{d. i. } hs = HS$$

$$\text{d. i. } \frac{h}{H} = \frac{S}{s}$$

Beide Gesetze gelten, mögen die Gefäße von gleicher oder ungleicher Weite sein, mögen sie vertical oder schief stehen.

Denn die Beweise für beide Gesetze sind ohne Rücksicht auf ihre Stellung, der erste Beweis auch ohne Rücksicht auf ihre Weite bewiesen; in dem Beweise für das zweite ist aber die Weite durch allgemeine Zahlzeichen ausgedrückt; also ist auch hier die Weite als beliebig angenommen.

Gesetze des Ausfließens.

Geschwindigkeit der ausfließenden Flüssigkeit.

§ 49. Durch eine Oeffnung des Bodens oder der Seitenwand eines Gefäßes fließt die Flüssigkeit mit der Geschwindigkeit aus, welche ein vom Niveau bis zur Oeffnung frei fallender Körper erreicht. D. i. $c = 2\sqrt{hg}$. Es verhalten sich demnach die Geschwindigkeiten zweier Flüssigkeitsströme, wie die Quadratwurzeln aus den Entfernungen der Oeffnungen von dem Niveau.

Denn die Flüssigkeit, welche durch eine Bodenöffnung fließt, fällt wirklich vom Niveau bis zur Oeffnung. Man kann aber auch diese Geschwindigkeit als die Wirkung des Druckes betrachten, welchen die Flüssigkeit an der Oeffnung von der darüber liegenden Flüssigkeitsmenge erleidet. Da nun der Druck auf eine Stelle der Seitenwand ebenso groß ist, als auf eine eben so große und gleich tief unter dem Niveau liegende Stelle des Bodens, so muß die Ausflußgeschwindigkeit aus einer Seitenöffnung eben so groß sein, als aus einer Bodenöffnung, wenn sie mit dieser gleiche Tiefe unter dem Niveau hat; die Geschwindigkeit muß also auch dieselbe sein, welche ein vom Niveau bis zur Oeffnung frei fallender Körper erreicht. Ist die Oeffnung horizontal, so muß der Wasserstrahl nach den Wurfgesetzen eine Parabel beschreiben.

Aufgabe 1. Wie viel Wasser fließt aus einer q Quadratfuß großen Oeffnung, welche sich h Fuß unter dem Niveau befindet, in t Secunden?

2. Wie groß muß eine h Fuß unter dem Niveau liegende Oeffnung sein, damit sie in t Secunden m Cub.-F. Flüssigkeit geben kann?

Bilde Aufgaben, in welchen t oder h unbekannt ist.

Hindernisse der Bewegung beim Ausfließen.

Die nach diesen Gesetzen für eine bestimmte Oeffnung und eine bestimmte Ausflußzeit berechnete Flüssigkeitsmenge stimmt aber nicht mit der durch den Versuch gefundenen überein. Letztere beträgt nur ungefähr 64 Prozent der ersteren.

Die wirkliche Geschwindigkeit ist also geringer als die berechnete, und zwar aus folgenden Ursachen:

1) Weil die Flüssigkeit an den Wänden der Oeffnung adhärirt.

2) Weil die flüssigen Körper nicht absolut flüssig sind. (Je dickflüssiger ein Körper ist, desto geringer die Ausflußgeschwindigkeit.)

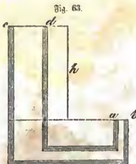
3) Weil die vom Niveau bis zur Oeffnung fallende Flüssigkeitsmenge von den seitwärts sich befindenden Flüssigkeitstheilchen in der Bewegung gehemmt wird.

Erläuterung zu Nr. 3. Gießt man aus einem Gefäße Wasser, so wird in einiger Entfernung der Strahl dünner und noch weiter unten zerreißt er in Tropfen. Das kommt daher, weil die unteren Theile des fallenden Wassers eine größere Geschwindigkeit haben, als die oberen. Ganz dieselbe Erscheinung würde nun innerhalb eines Gefäßes mit der vom Niveau bis zur Oeffnung fallenden Flüssigkeit eintreten, wenn nicht die durch das Dünnerwerden und Zerreißen des Strahls entstehenden Lücken durch die seitwärts im Gefäße befindlichen Flüssigkeitstheilchen ausgefüllt würden. Durch diese aber wird die Geschwindigkeit des fallenden Wassers vermindert. Aus dieser Betrachtung ergiebt sich auch, erstens, warum die Differenz zwischen der berechneten und beobachteten Ausflußmenge desto größer ist, je tiefer die Oeffnung unter dem Niveau; zweitens, warum durch Ansatzröhren die wirkliche Ausflußmenge größer wird.

§ 50. Wenn eine von zwei communicirenden Röhren kürzer ist, als die andere, und die längere wird durch Zufluß gefüllt erhalten, so würde die Flüssigkeit bis zum Niveau des längeren steigen, wenn nicht Luftdruck, Adhäsion und das zurückfallende Wasser diese Höhe verminderten. Springbrunnen.

Wegen dieser Hindernisse erreicht der Strahl nur ungefähr zwei Drittheil dieser Höhe.

Fig. 63.



Beweis. Die oberste Flüssigkeitsschicht ab (Fig. 63.) erleidet einen Druck, welcher gleich der Schwere einer Flüssigkeitssäule ist, deren Grundfläche ab und deren Höhe = h ist. Ein solcher Druck ertheilt aber, wie aus § 49 hervorgeht der Flüssigkeit eine Geschwindigkeit von $2\sqrt{hg}$ F. Ein Körper aber, welcher mit einer Geschwindigkeit von $2\sqrt{hg}$ Fuß senkrecht in die Höhe geworfen wird, erreicht, wie sich aus den Gesetzen des verticalen Wurfes ergiebt, eine Höhe von h Fuß. Springbrunnen. Artesische Brunnen.

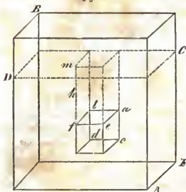
§ 51. Gleichgewicht fester Körper in flüssigen. Wird ein fester Körper in eine Flüssigkeit gethan, so sinkt er entweder unter, oder er taucht nur zum Theil, oder gerade bis zur Oberfläche ein. Gleichgewicht fester und flüssiger Körper.

1) Er sinkt unter, wenn er specifisch schwerer ist, als die Flüssigkeit, und zwar sinkt er mit dem Ueberschusse seines Gewichtes über das Gewicht der von ihm verdrängten Flüssigkeitsmenge unter; oder was dasselbe ist: Wenn der feste specifisch schwerer ist.

Er verliert an seinem Gewichte so viel, als die von ihm verdrängte Flüssigkeitsmenge wiegt. (Das Archimedische Prinzip.)

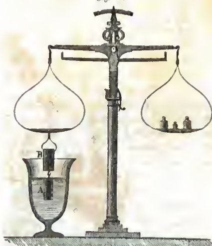
Dabei ist es gleichgültig, wie tief sich der Körper unter der Oberfläche befindet.

Fig. 64.



Beweis. (Fig. 64.) A B sei ein Gefäß mit Wasser, CD dessen Niveau, e f die später von dem einzutauchenden Körper verdrängte Flüssigkeitsmenge. Bevor der Körper eingetaucht wird, steht die Flüssigkeit in Ruhe; es muß also die Flüssigkeitsschicht, auf welcher e f ruht, ebenso stark nach oben drücken, als die über ihr ruhenden Flüssigkeitsmengen e f und a m nach unten drücken. Wiegt also ef k Pfd. und am r Pfd., so ist der Druck auf die gedachte Schicht von oben und also auch von unten = k + r Pfd. Wenn nun an der Stelle von e f ein Körper sich befindet, welcher k + v Pfd. wiegt, so ist der Druck von oben = k + r + v Pfd., der Druck von unten bleibt = k + r Pfd. Der Ueberschuß des Druckes von oben ist also = v Pfd., folglich sinkt der Körper mit v Pfd. Kraft nach unten; er hat also k Pfd. an Gewicht verloren.

Fig. 65.



Beweis durch den Versuch. (Fig. 65.) An der einen Wagschale einer Wage hängt ein hohler Cylinder B und darunter ein massiver A, welcher genau den Cylinder B ausfüllt. Legt man auf die andere Wagschaale so viel Gewichte, daß die Wagschaalen im Gleichgewichte stehen, und taucht dann den unteren Cylinder A ins Wasser, so wird das Gleichgewicht gestört. Es wird aber wieder hergestellt, wenn man den hohlen Cylinder voll Wasser gießt.

Daher ist es leichter, schwere Körper im Wasser zu heben, als in der Luft; z. B. Taucher holen vom Grunde des Wassers eiserne Kugeln herauf. Schöpft man mit einem Eimer Wasser, so ist es leicht, ihn bis an die Oberfläche zu heben. Ein im Wasser befindlicher Mensch kann sich durch Festhalten an einem sehr dünnen Zweige vor dem Untersinken schützen. Steigt man aus dem Wasser in einen Kahn, so muß die Kraftanstrengung größer werden, je mehr Theile des Körpers über die Oberfläche des Wassers kommen. Waldbäche, welche eine starke Strömung haben, vermögen große Felsstücke fortzuführen, weil diese einen großen Theil ihres Gewichtes im Wasser verlieren.

2) Der Körper sinkt bloß zum Theil ein, wenn er specifisch leichter ist, als die Flüssigkeit, und zwar sinkt er so weit ein, daß das Gewicht der verdrängten Flüssigkeitsmenge dem seinigen gleich ist. wenn der feste der specifisch leichtere ist.

Der Beweis weicht von dem für specifisch schwerere Körper nur darin ab, daß man annimmt, der eingetauchte Körper wiege k — v Pfd. Dann ist der Druck von oben nach unten = k + r — v Pfd. und der von unten = k + r Pfd. Also muß der Körper mit v Pfd. Kraft nach oben steigen. Daß der Körper so weit aus der Flüssigkeit gedrängt wird, bis das Gewicht der verdrängten Flüssigkeit gleich seinem Gewichte ist, läßt sich ganz in derselben Art beweisen. Jeder schwimmende Körper, z. B. ein Schiff, kann so weit belastet werden, bis sein Gewicht und das der Last gleich dem der verdrängten Flüssigkeit ist. Je specifisch schwerer hiernach eine Flüssigkeit ist, ein desto größerer Theil desselben schwimmenden Körpers ragt über die Oberfläche heraus, z. B. Kork taucht so wenig in Quecksilber ein, daß er darauf zu ruhen scheint. Schiffe, welche aus den Meeren in einen Fluß einlaufen, müssen erleichtert werden. Das Wasser des todten Meeres soll so schwer sein, daß selbst Menschen, die nicht schwimmen können, darin nicht ganz untersinken. Auf Quecksilber schwimmt sogar Eisen.

Auch Körper, welche spezifisch schwerer sind, als Wasser, schwimmen, wenn sie eine solche Form haben, daß das von ihnen verdrängte Wasser mehr wiegt, als sie selbst. Z. B. leere Flaschen, metallene hohle Kugeln, eiserne Böte. Das künstliche Schwimmen der Menschen besteht darin, daß man sich vermittelst des Widerstandes, welchen das Wasser bei der Bewegung der Hände und Füße leistet, wieder über das Wasser erhebt, so oft man bis zum Munde eingesunken ist. (Der menschliche Körper ist nur wenig schwerer als Wasser.) Je mehr Theile des Körpers unter dem Wasser sind, desto weniger Anstrengung erfordert das Schwimmen; z. B. wenn man so auf dem Rücken schwimmt, daß bloß das Gesicht außer dem Wasser ist. Personen, welche nicht schwimmen können, strecken, wenn sie in Gefahr kommen, zu ertrinken, zu ihrem Nachtheil gewöhnlich die Arme über's Wasser. Sie würden sich retten, wenn sie mit Armen und Füßen die gewöhnlichen Bewegungen des Gehens machten. Ertrunkene Menschen oder Thiere liegen eine Zeitlang auf dem Grunde; sobald aber der Prozeß der Fäulniß beginnt, entwickeln sich Gase in dem Körper, derselbe nimmt an Volumen zu und kommt an die Oberfläche des Wassers. wenn der feste u. der flüssige specifisch gleich schwer sind.

3) Der Körper taucht bis zum Niveau ein, und bleibt in jeder Tiefe, bis zu welcher er eingetaucht wird, wenn sein specifisches Gewicht gleich dem der Flüssigkeit ist.

Beweis. Befindet sich an der Stelle der Flüssigkeitsmenge ef (Fig. 64.) ein Körper, welcher eben so viel wiegt, als das verdrängte Wasser, so ist der Druck auf die Flüssigkeitsschicht, auf welcher er ruht, eben so groß, als ob bloß Flüssigkeit über ihr stände, und folglich muß Gleichgewicht stattfinden.

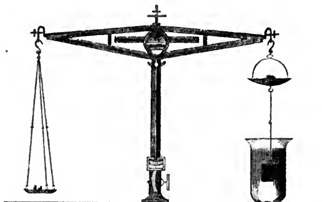
Bestimmung des specifischen Gewichts

§ 52. Bestimmung des specifischen Gewichts. Aus diesen Gesetzen ergeben sich bequeme Methoden, das specifische Gewicht der Körper zu bestimmen. Man kann nämlich leicht finden, wie viel eine Menge Wasser wiegt, welche gleiches Volumen mit dem zu untersuchenden Körper hat, und daraus, wie viel mal schwerer dieser ist, als ein gleiches Volumen Wasser.

fester Körper,

1) Das specifische Gewicht fester Körper erhält man, indem man den Gewichtsverlust des Körpers in destillirtem Wasser bestimmt und mit diesem in sein absolutes Gewicht dividirt. (Siehe Fig. 67.)

Fig. 67.



Den Gewichtsverlust eines festen Körpers, welcher specifisch leichter ist, als Wasser, erhält man, wenn man ihn mit einem specifisch schwereren Körper verbindet, so daß beide zusammen untersinken, dann den Gewichtsverlust beider und endlich den Gewichtsverlust des specifisch schwereren bestimmt und diesen von dem Gewichtsverluste beider Körper abzieht.

flüssiger Körper.

2) Das specifische Gewicht eines flüssigen Körpers findet man, wenn man den Gewichtsverlust eines beliebigen festen Körpers in der zu untersuchenden Flüssigkeit und dann den in Wasser bestimmt, und mit letzterem in ersteren dividirt.

Das specifische Gewicht flüssiger Körper bestimmt man auch durch Tausend-Gran-Fläschchen, das sind Fläschchen mit eingeriebenem Glaspfropfen, in welche genau 1000 Gran reines Wassers gehen. Füllt man ein solches Fläschchen mit der zu untersuchenden Flüssigkeit und bestimmt deren Gewicht, so findet man, wie viel mal schwerer sie ist, als ein gleiches Volumen Wasser.

3) Zur Bestimmung des specifischen Gewichtes sehr kleiner fester Körper bedient man sich des Nicholson'schen Aräometers (Dichtigkeits-

Nicholsons Aräometer,

messer). (Fig. 68.) Ein hohler Metallcylinder A, welcher oben an einem dünnen Drahte ein Schälchen B, unten einen schweren Körper trägt c, welcher oben und unten mit einem hervorstehenden Rande versehen ist. Der obere Draht hat eine Marke in D. Das Instrument ist so eingerichtet, daß dasselbe im Wasser aufrecht schwimmt und ein Theil des Cylinders aus dem Wasser hervorragt.



Fig. 68.

Vermittelst dieses Instrumentes kann man erstens das absolute Gewicht fester Körper bestimmen. — Auf welche Weise? — Zweitens den Gewichtsverlust derselben im Wasser, sowohl solcher, welche specifisch schwerer, als auch solcher, welche specifisch leichter als Wasser sind. (Letztere legt man beim Eintauchen in Wasser unter das Gefäß C.) Drittens kann man durch dasselbe das Gewicht einer Quantität Flüssigkeit bestimmen, deren Volumen gleich dem des Instrumentes bis zur Marke D ist. Zur schnelleren Bestimmung des specifischen Gewichts von Flüssigkeiten bedient man sich mit Vortheil der sogenannten Scalen-Aräometer.

Scalen-Aräometer sind:

Das Volumeter.

1. Das Volumeter (Fig. 69.), eine Glasröhre, welche sich unten in einen Cylinder erweitert, und darunter noch eine Kugel mit Quecksilber trägt, damit es aufrecht schwimmt.


Fig. 69.

Soll das Instrument zur Bestimmung des specifischen Gewichts von schwereren Flüssigkeiten dienen, so ist es so eingerichtet, daß es in reinem Wasser fast bis zum obersten Punkte der Röhre einsinkt. Diesen Punkt bezeichnet man mit 100. Von diesem abwärts sind Theilstriche so angebracht, daß jedes Röhrenstück zwischen je zweien $= \frac{1}{100}$ des Volumens ist, welches im Wasser eingetaucht steht, und mit den Zahlen 100, 101, 102, 103, 104 versehen. Soll das Instrument für specifisch leichtere Flüssigkeiten gebraucht werden, so liegt der Wasserpunkt ziemlich tief, die Theilung geht von diesem aufwärts und die Zahlen werden vom Wasserpunkte an kleiner.

Taucht nun ein solches Instrument in einer Flüssigkeit bis zur Zahl a ein, so ist deren specifisches Gewicht $= \frac{a}{100}$. — Warum?

Das Alkoholometer.

2. Das Alkoholometer, von dem Volumeter nur darin unterschieden, daß die Scala angiebt, wie viel Procent Alkohol der wasserhaltige Spiritus enthält. Wie construirt man die Scala?

Die Soolwage.

3. Die Soolwage. Die Scala derselben giebt an, den wie vielten Theil derjenigen Menge Salz die Soole enthält, durch welche das Wasser gesättigt wird.

Specifisches Gewicht einiger festen Körper.

Tabelle der specifischen Gewichte einiger festen Körper bei 0° Wärme.

Platin, gemünzt	22,100.	Porcellan	2,493 — 2,145.
gewalzt	22,069.	Gyps, crystallisirt	2,311.
geschmolzen	20,857.	Schwefel	2,033.
zu Draht gezogen	19,267.	Elfenbein	1,917.
Gold, gemünzt	19,325.	Alabaster	1,874.
geschmolzen	19,253.	Phosphor	1,770.
Blei, geschmolzen	11,352.	Bernstein	1,078.
Silber	10,474.	Wachs, weißes	0,969.
Wismuth	9,822.	Natrium	0,972.
Kupfer, gehämmert	8,878.	Kalium	0,865.
gegossen	7,788.	Ebenholz	1,226.
Messing	8,395.	Eichenholz, alt	1,170.
Arsenik	8,308.	Buxbaum	1,330.
Nickel	8,279.	Ahorn, frisch	0,904.
Stahl	7,816.	trocken	0,659.
Eisen, geschmiedet	7,788.	Buchen, frisch	0,982.
gegossen	7,207.	trocken	0,590.
Zinn	7,291.	Edeltanne, frisch	0,890.
Antimon	6,712.	trocken	0,555.
Chrom	5,900.	Erlen, frisch	0,857.
Jod	4,948.	trocken	0,500.
Schwerspath	4,426.	Eschen, frisch	0,904.
Diamant	3,520.	trocken	0,644.
Flintglas, von Frauenhofer	3,779.	Linden, frisch	0,817.
französisches	3,200.	trocken	0,439.
englisches	3,373.	Mahagony	1,060.
Bouteillenglas	2,600.	Nußbaum	0,677.
Spiegelglas	2,370.	Pappel	0,383.
Marmor	2,837.	Kork	0,24.
Bergcrystall	2,683.		

einiger flüssigen Körper.

Tabelle der specifischen Gewichte einiger Flüssigkeiten bei 0°.

Destillirtes Wasser	1,000.	Wein, Bordeaux	0,994.
Quecksilber	13,598.	Champagner	0,998.
Schwefelsäure, englische	1,848.	Malaga	1,022.
Verdünnte Schwefelsäure bei 12° R.:		Mosel	0,916.
		Rhein	0,999.
10procentige	1,066.	Oele, Citronen	0,852.
50 „	1,387.	Lein	0,953.
100 „	1,840.	Mohn	0,929.
Verdünnte Salpetersäure:		Oliven	0,915.
10procentige	1,054.	Terpentin	0,872.
50 „	1,295.	Alkohol, absoluter	0,793.
100 „	1,500.	Schwefeläther	0,715.
Milch	1,030.	Schwefelkohlenstoff	1,272.

D. Gleichgewichts- und Bewegungsgesetze der luftförmigen Körper.

§ 53. Die luftförmigen Körper haben die Schwere und die leichte Verschiebbarkeit ihrer Theile mit den flüssigen Körpern gemein; es müssen daher alle Gesetze der flüssigen Körper, die aus diesen beiden Eigenschaften entspringen, auch für die luftförmigen gelten. Welche Gesetze der flüssigen Körper gelten auch für die luftförmigen?

Beweis für die Schwere. Ein Ballon, aus welchem die Luft ausgepumpt ist, ist leichter, als wenn er mit Luft gefüllt ist.

Fig. 70.



Sie besitzen aber zwei Eigenschaften, die den flüssigen Körpern abgehen: sie sind elastisch und ausdehnsam.

Beweis für die Elasticität. (Fig. 70.) Wird ein genau schließender Kolben in eine unten geschlossene Röhre gedrückt, so treibt ihn die Luft wieder zurück. Den Beweis für die Ausdehnsamkeit siehe § 4.

Daher erleiden manche von den Gesetzen, die sie mit den flüssigen Körpern gemein haben, eine Modification, und andere neue Erscheinungen treten auf.

Da wir uns selbst in dem Luftmeere befinden, so kann von allen Gesetzen, welche die Oberfläche der Flüssigkeiten in Gefäßen betrafen, hier nicht die Rede sein. Es fragt sich aber, ob die ganze Luftmasse wie die Meere wegen der Schwere und der leichten Verschiebbarkeit ihrer Theile eine kugelförmige Oberfläche hat.

Wegen der Schwere und der Elasticität der Luft muß die Dichtigkeit der Atmosphäre von oben nach unten zunehmen und dicht an der Oberfläche der Erde am größten sein.

Denn je größer die Masse ist, welche auf einem elastischen Körper ruht, desto mehr wird er zusammengedrückt und desto dichter wird er.

Die Abnahme der Dichtigkeit der Luft von unten nach oben muß aber wegen der Ausdehnsamkeit unbegrenzt sein.

Denn wir werden später sehen, daß die Luft, so weit man sie auch mit der Luftpumpe verdünnen mag, immer expansiv bleibt. (Sie füllt immer noch den ganzen Recipienten aus.)

Es muß demnach die Luft endlich in einer gewissen Höhe so dünn sein, daß, wenn wir diese Höhe auch erreichen könnten, wir doch auf keine Weise das Vorhandensein von Luft wahrzunehmen vermöchten. Für uns ist also hier die Grenze der Atmosphäre; wiewohl man, da sie allmälig verschwindet, nicht von einer Oberfläche derselben sprechen kann.

Aber die folgenden aus der Schwere und der leichten Verschiebbarkeit der Theile für die flüssigen Körper entspringenden Gesetze gelten auch für die luftförmigen Körper, nämlich:

Gesetze, welche für die luftförmigen, wie für die flüssigen Körper gelten.

1) Der Druck pflanzt sich gleichmäßig fort.

2) In einer Flüssigkeit erleidet jeder Körper und jede Flüssigkeitsschicht einen Druck, welcher so groß ist, als die Schwere einer Flüssigkeitssäule, welche zur Grundfläche die gedrückte Stelle und zur Höhe die Entfernung derselben vom Niveau hat.

3) Jeder Körper verliert in einer Flüssigkeit so viel an Gewicht, als die verdrängte Flüssigkeit wiegt.

Zu Nr. 1. Drückt man vermittelst eines Kolbens die Luft in einem Gefäße zusammen, so erleiden alle Theile der Umfassungswände des Gefäßes diesen Druck; denn befindet sich irgendwo eine Oeffnung, und man hält diese mit dem Finger zu, so fühlt man den Druck. Der Druck, welchen die Atmosphäre durch ihr Gewicht hervorbringt, ist im Zimmer eben so groß, als unter freiem Himmel; denn der Barometerstand ist hier und dort derselbe, siehe § 54.

Zu Nr. 2. Da wir uns in einem Luftmeere befinden, so muß jede Fläche einen Druck erleiden, der gleich dem Gewichte einer Luftsäule ist, welche zur Grundfläche die gedrückte Stelle und zur Höhe die Höhe der Atmosphäre hat. Dieser Druck giebt sich z. B. in folgenden Erscheinungen kund: Füllt man eine an beiden Seiten offene Glasröhre mit Wasser, indem man die eine Oeffnung mit dem Finger zuhält, und taucht sie mit dem offenen Ende in Wasser, so sinkt das in der Röhre erst dann bis zum Niveau des außer der Röhre befindlichen, wenn man den Finger oben wegnimmt. Aus dem Zapfloche eines Fasses läuft der Wein erst dann, wenn das Spundloch geöffnet wird. Bedeckt man ein Glas Wasser mit Papier und kehrt es um, so bleibt das Wasser darin. Noch genauer werden wir diesen Luftdruck im nächsten Paragraphen betrachten.

Zu Nr. 3. Ein mit verdünnter Luft oder Wasserstoffgas gefüllter Ballon steigt in die Höhe und zwar bis zu der Höhe, in welcher die von ihm verdrängte Luft gleich seinem Gewichte ist. — Leichte Körper, wie Flaumfedern, Staub u. dergl., sinken ganz langsam zur Erde. — Die Vögel schwimmen in der Luft.

Das Barometer.

Der Torricelli'sche Versuch.

§ 54. Füllt man eine an dem einen Ende zugeschmolzene Glasröhre von etwa 30 Pariser Zoll Länge mit Quecksilber und taucht sie umgekehrt in ein Gefäß mit Quecksilber, so sinkt das in der Röhre enthaltene um einige Zoll herunter, so daß sein Niveau ungefähr 28 Zoll über dem des Gefäßes steht. (Torricelli'scher Versuch.)

Erhebt man sich mit dieser Vorrichtung über die Erdoberfläche, etwa in einem Luftballon, oder indem man einen Berg ersteigt, so sinkt die Quecksilbersäule, und zwar desto mehr, je höher man steigt. Hat man anstatt der an einer Seite zugeschmolzenen Röhre eine an beiden Seiten offene genommen, und sie oben mit dem Finger zugehalten, so fällt die ganze Quecksilbersäule, sobald man den Finger wegnimmt.

Daraus geht hervor, daß die Quecksilbersäule von dem Luftdrucke getragen wird.

Daraus aber, daß die Quecksilbersäule beim Umkehren von 30 bis auf ungefähr 28 Zoll sinkt, geht hervor, daß der Luftdruck, oder das Gewicht der Luftsäule, welche auf dem Quecksilber des Gefäßes ruht, nur einer Quecksilbersäule von ungefähr 28 Zoll Höhe das Gleichgewicht zu halten vermag, also gerade so groß ist, als das Gewicht derselben. Man hat somit eine Vorrichtung, vermittelst deren man den Druck der Atmosphäre messen kann. Um die Höhe der Quecksilbersäule genau messen zu können, bringt man einen Maßstab an, dessen Nullpunkt auf dem Quecksilberniveau des Gefäßes steht.

Das Gefäß- u. das Heber-barometer.

Eine solche Vorrichtung heißt Barometer; die Höhe der von der Luft getragenen Quecksilbersäule Barometerstand.

Fig. 71.

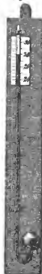


Fig. 72.



Unsere Stubenbarometer haben gewöhnlich die Form Fig. 71.

Von dem Maßstabe ist bloß der obere Theil verzeichnet, und obwohl der Barometerstand, wie wir später sehen werden, veränderlich ist, also auch das Niveau im Gefäße bald höher, bald niedriger steht, so läßt man doch den Stand des Maßstabes unverändert, weil das Steigen und Fallen im Gefäße so gering ist, daß man dasselbe übersehen kann. Ein Barometer von dieser oder der vorigen Form heißt Gefäßbarometer. Für wissenschaftliche Zwecke, wo es auf große Genauigkeit ankommt, bedient man sich des sogenannten Heber-Barometers. (Fig. 72.) Bei diesem ist der Maßstab verschiebbar, so daß sich der Nullpunkt immer auf das Niveau des kürzeren Schenkels stellen läßt; oder es ist für jeden Schenkel ein Maßstab angebracht.

Der obere Raum im Barometer muß vollständig luftleer sein; warum? wie erkennt man, ob er luftleer ist? Das Quecksilber selbst muß durch Auskochung von allen Luftblasen befreit sein; weshalb? Ist es nothwendig, daß die Röhre überall genau gleich weit sei? Beim Heber-Barometer ist dies wünschenswerth; weßhalb? Warum braucht die Oeffnung im Gefäße des Stubenbarometers nur ganz klein zu sein? Warum wird die Quecksilbersäule länger, wenn man die Barometerröhre aus der verticalen Lage bringt? Wie muß man das Barometer beim Tragen halten, wenn man sicher sein will, daß das Quecksilber die Röhre nicht zerschlägt?

§ 55. **Anwendung des Barometers.** Das Barometer giebt, wie im vorigen Paragraphen gezeigt ist, den Druck an, welchen

Messung des Luftdruckes.

jeder Theil der Erdoberfläche und die Begrenzungsflächen jedes Körpers durch die Luft erleiden.

1) Der Luftdruck auf jede Fläche ist nämlich so groß, als die Schwere einer Quecksilbersäule, die zur Grundfläche die gedrückte Stelle und zur Höhe den Barometerstand hat.

Wie groß ist der Luftdruck auf eine Tischplatte von 9 Quadratfuß Größe, wenn das specifische Gewicht des Quecksilbers = 13½ und ein Cub.-F. Wasser 66 Pfd. wiegt? Wie groß ist der Druck auf den Körper eines Mannes, dessen Oberfläche 13 □ Fuß beträgt? Wie ist es möglich, daß wir diesen Druck gar nicht merken? daß der Tisch nicht zusammenbricht?

Massen-Bestimmung der Atmosphäre.

2) Hieraus läßt sich nun das ungefähre Gewicht der ganzen, unsere Erde umgebenden Luftmasse bestimmen.

Aus dem Radius der Erde kann man ihre Oberfläche berechnen. Das Gewicht der ganzen Luftmasse ist gleich dem Gewicht einer Quecksilbersäule, die zur Grundfläche die Oberfläche der Erde hat und 28 Zoll hoch ist. Da man nun das Gewicht von 1 Cub.-F. Quecksilber kennt, so kann man das Gewicht jener Quecksilbersäule finden.

Führe diese Rechnung für folgende Werthe aus: der Radius der Erde = 860 Meilen, das specifische Gewicht des Quecksilbers = 13½. Das Gewicht eines Cubik-Fußes Wasser = 66 Pfd.

3) Da das Barometer sinkt, wenn man sich über die Erdoberfläche erhebt, so würde sich vermittelst desselben sehr leicht die Höhe der Berge, überhaupt der Höhenunterschied zweier Orte bestimmen lassen, wenn die Luft nicht elastisch wäre und also in jeder Höhe gleiche Dichtigkeit, also gleiches specifisches Gewicht hätte. Denn wäre dann z. B. gefunden, daß das Barometer bei einer Erhebung von 75 F. um eine Linie sänke, so wäre ein Ort, an welchem das Barometer n Linien niedriger stände, als an einem andern, um n . 75 Fuß höher gelegen, als letzterer.

Fig. 73.



Nun ist aber die Luft elastisch; sie hat daher in den untern Schichten eine größere Dichtigkeit und also auch ein größeres specif. Gewicht, als in den oberen. Es muß daher zuvor untersucht werden, in welchem Verhältnisse die Dichtigkeit der Luft bei zunehmender Höhe sich vermindert. Und dazu ist wieder nöthig, zu untersuchen, in welchem Verhältnisse die Dichtigkeit der Luft bei zunehmender zusammendrückender Kraft wächst.

Zunahme der Luftdichtigkeit bei zunehmendem Drucke.

§ 56. Füllt man (Fig. 73.) in eine gekrümmte Röhre, deren unterer Theil verschlossen und überall gleich weit ist, ein wenig Quecksilber und läßt nun durch Neigung der Röhre aus dem kürzeren Schenkel so viel Luft heraus, daß das Quecksilber bei verticaler Stellung der

Röhre in beiden Schenkeln gleich hoch steht, etwa bis ab, so erleidet die in dem kürzeren Schenkel abgesperrte Luft einen Druck, der gleich der Schwere einer Quecksilbersäule ist, welche zur Grundfläche den Querdurchschnitt des kürzeren Schenkels und zur Höhe den Barometerstand hat. Gießt man nun so viel Quecksilber nach, bis dasselbe in dem längeren Schenkel um einen Barometerstand höher, als in dem kürzeren Schenkel steht, so daß also der Druck auf die abgesperrte Luft doppelt so groß ist, als vorher, so nimmt letztere nur einen halb so großen Raum ein. Gießt man dann wieder so viel Quecksilber nach, bis dasselbe in dem längeren Schenkel um 2 Barometerstände höher steht, als in dem kürzeren, so ist die zusammendrückende Kraft dreimal so groß als zuerst, und die abgesperrte Luft nimmt jetzt einen dreimal kleineren Raum ein. Auch wenn man den Druck $1\frac{1}{2}$ mal, $2\frac{1}{2}$ mal u. dgl. so groß macht, als zuvor, so erhält man einen $1\frac{1}{2}$, $2\frac{1}{2}$ 2c. mal so kleinen Raum für die abgesperrte Luft. Kurz, bei allen Versuchen der Art erhält man stets für den n fachen Druck einen n mal so kleinen Raum.

Auch für einen Druck, welcher kleiner ist als eine Atmosphäre, gilt das Gesetz. Denn: Füllt man eine Barometerröhre (Fig. 74.) bis auf etwa einen Zoll mit Quecksilber, taucht sie umgekehrt in eine weitere mit Quecksilber gefüllte Röhre und drückt sie so weit hinab, bis das Niveau in beiden Röhren gleich hoch steht, so nimmt die in der engeren abgesperrte Luft wieder einen Raum von einem Zoll Länge ein, und ist so dicht als die äußere. Zieht man dann die engere Röhre so weit in die Höhe, daß das Quecksilber in dieser einen halben Barometerstand über dem der weiteren steht, so nimmt die Luft einen Raum von 2 Zoll Länge ein. Steht es zwei Drittheil des Barometerstandes höher, so nimmt die Luft einen 3 Zoll langen Raum ein u. s. w.

Fig. 74.



Das Mariotte'sche Gesetz.

a. Es verhält sich demnach das Volumen eines luftförmigen Körpers umgekehrt wie die Kraft, mit der er gedrückt wird.

Oder was dasselbe ist:

b. Es verhält sich die Dichtigkeit eines luftförmigen Körpers, wie die drückende Kraft.

Dieses Gesetz heißt das Mariotte'sche; es wurde nämlich 1660 von Mariotte in Frankreich, zugleich aber auch von Boyle in England gefunden. Aus dem Versuche geht auch hervor:

c. Die Expansion eines luftförmigen Körpers verhält sich, wie seine Dichtigkeit.

Denn sie ist, wie der obige Versuch zeigt, gleich der drückenden Kraft.

Das Mariotte'sche Gesetz gilt aber nur für Luft von gleicher Temperatur.

Die Dichtigkeit d. Atmosphäre nimmt in geometrischem Verhältnisse ab.

§ 57. **Abnahme der Dichtigkeit der Atmosphäre bei zunehmender Höhe.** Vermittelst des Mariotte'schen Gesetzes läßt sich nun finden, in welchem Verhältnisse die Dichtigkeit der Atmosphäre von unten nach oben abnimmt, vorausgesetzt, daß sie sich vollkommen in Ruhe befindet, und überall gleiche Temperatur hat. Man denke sich die Atmosphäre in unendlich niedrige, der Erdoberfläche parallele Schichten getheilt, dann muß jede folgende aufwärts eine geringere Dichtigkeit haben, und man muß endlich zu einer Schicht gelangen, deren Dichtigkeit so gering ist, daß ihr Gewicht $= 0$ angenommen werden kann. Hier wird das Barometer auf Null stehen.

Geht man von dieser Schicht wieder abwärts, so halte die nächst tiefere Schicht A durch ihr Gewicht einer Quecksilbersäule von a Linien das Gleichgewicht; und durch ihr Gewicht werde die nächst darunter liegende Schicht (B) n mal so dicht, also auch n mal so schwer als A. B wird also durch ihr Gewicht na Linien Quecksilber das Gleichgewicht halten.

Ein Barometer, welches unter B steht und daher den Druck von A und B erhält, muß $a + na$, d. i. $(1 + n)\, a$ Linien hoch stehen.

Die dritte Schicht C erleidet demnach einen Druck, welcher gleich $(1 + n)\, a$ Linien Quecksilber ist. Durch einen Druck von a Linien wurde die Schicht B so dicht, daß sie durch ihr Gewicht einer na Linien hohen Quecksilbersäule das Gleichgewicht hielt. Die Schicht C, welche einen $(1 + n)$ mal so großen Druck als B erleidet, muß $(1 + n)$ mal dichter als B werden, also durch ihr Gewicht auch einer $(1 + n)$ mal so hohen Quecksilbersäule das Gleichgewicht halten, als B, d. i. $(1 + n)\, na$ Linien Quecksilber. Da nun das Gewicht von A und B $=$ dem von $(1 + n)\, a$ Linien Quecksilber war, so ist das von A, B und C $=$ dem von $(1 + n)\, a + (1 + n)\, na$, d. i. $= (1 + n)^2\, a$ Linien Quecksilber und der Barometerstand muß unter $C = (1 + n)^2 . a$ Linien sein.

Die vierte Schicht D erleidet hiernach einen $(1 + n)^2$ mal so großen Druck, als B, muß also auch $(1 + n)^2$ mal so dicht, also auch $(1 + n)^2$ mal so schwer sein, als B. Ihr Gewicht muß also gleich dem von $(1 + n)^2\, na$ Linien Quecksilber sein. Folglich ist das Gewicht von A, B, C und D zusammen genommen $= (1 + n)^2\, a + (1 + n)^2\, na$, d. i. $= (1 + n)^3\, a$. Das Barometer wird also unter der Schicht D $(1 + n)^3\, a$ Linien hoch stehen. Ebenso läßt sich folgern, daß der Barometerstand unter der fünften Schicht $E = (1 + n)^4\, a$,
unter der sechsten „ $F = (1 + n)^5\, a$
u. s. w. sein muß.

Hieraus ergiebt sich für die Dichtigkeiten der einzelnen Luftschichten, so wie für die Barometerstände unter denselben folgendes Schema:

Luftschicht.	Dichtigkeit d. Luftschicht, ausgedrückt durch die Höhe d. Quecksilbersäule, welcher sie das Gleichgewicht hält.	Barometerstände unter den einzelnen Luftschichten.
A	a	a
B	n a	(1 + n) a
C	(1 + n) n a	$(1 + n)^2$ a
D	$(1 + n)^2$ n a	$(1 + n)^3$ a
E	$(1 + n)^3$ n a	$(1 + n)^4$ a
F	$(1 + n)^4$ n a	$(1 + n)^5$ a
G	$(1 + n)^5$ n a	

Schema für d. Zunahme der Luftdichtigkeit von oben nach unten.

Die Dichtigkeiten der Luftschichten, so wie die Barometerstände bilden also eine geometrische Reihe. Da nun in jeder geometrischen Reihe die Glieder, welche gleichen Abstand von einander haben, z. B. das 1ste, 4te, 7te, 10te ꝛc., oder das 1te, 6te, 11te, 16te ꝛc. wieder eine geometrische Reihe bilden, so folgt:

Die Dichtigkeiten der Luft und die Barometerstände in Höhen, welche eine arithmetische Progression bilden, stehen in geometrischer Progression.

Z. B. Die Barotерstände in 100 F., 200 F., 300 F., 400 F. ꝛc. Höhe, oder in den Höhen von 73 F., 2 . 73 F., 3 . 73 F. ꝛc.

F	$\left(\frac{335}{336}\right)^5 \cdot 336$
73	
E	$\left(\frac{335}{336}\right)^4 \cdot 336$
73	
D	$\left(\frac{335}{336}\right)^3 \cdot 336$
73	
C	$\left(\frac{335}{336}\right)^2 \cdot 336$
73	
B	$\frac{335}{336} \cdot 336$
73	
A	336 L.

Schema für d. Barometerstände bei zunehmender Höhe.

§ 58. Die Erfahrung lehrt, daß wenn das Barometer bei einer Temperatur von ½ Grad an dem Orte A 28 Zoll hoch steht und man 73 F. höher, bis zum Orte B steigt, ersteres um eine Linie, also von 336 Linien auf 335 sinkt. Der Barometerstand in B ist also $\frac{335}{336}$ mal so hoch, als in A. Demnach muß (§ 57) im Orte C, welcher wieder 73 F. höher liegt, als B, das Barometer $\frac{335}{336}$ mal so hoch stehen, als in C u. s. f. Demnach sind die Barometerstände an den Orten A, B, C, D, E, F, von denen jeder folgende um 73 F. höher liegt, als der vorangehende, wie nebenstehend:

Der Barometerstand in einem Orte, welcher n . 73 F. höher, als A liegt, ist dann $\left(\frac{335}{336}\right)^n . 336$ Linien.

Höhenmessung vermittelst des Barometers.

Hiernach wäre es nun leicht, aus dem Unterschiede der Barometerstände zweier Orte ihren Höhenunterschied zu bestimmen, wenn nicht noch andere Umstände zu berücksichtigen wären.

Denn gesetzt, an einem Orte M stünde das Barometer auf 320 Linien, so läge M x . 73 F. über A, wo x aus der Gleichung $\left(\frac{335}{336}\right)^x . 336 = 320$ sich bestimmen ließe.

Nämlich: Ein und dieselbe Luftsäule hält einer desto höheren Quecksilbersäule das Gleichgewicht, je kälter die Luft oder je wärmer das Quecksilber ist; ferner: Die Feuchtigkeit der Luft verändert ihre Schwere. Wegen der Capillardepression steht das Quecksilber etwas niedriger, als es ohne dieselbe stehen würde.

Jeder dieser Umstände macht beim Höhenmessen eine besondere Correctur nöthig. Z. B. Für jeden Reaumur'schen Wärmegrad dehnt sich die Quecksilbersäule um $\frac{1}{4440}$, die Luftsäule um $\frac{1}{213}$ ihrer Länge aus Dazu kommt noch, daß das Barometer an demselben Orte zu verschiedenen Zeiten verschieden hoch steht; es muß daher der Barometerstand an den beiden zu vergleichenden Orten zu gleicher Zeit beobachtet werden. Liegen die beiden Orte zu weit auseinander, so kann der Fall eintreten, daß an dem einen Beobachtungsorte der Barometerstand durch Wind eine Aenderung erleidet, während die Luft an dem andern ruhig ist.

Man sieht hieraus, daß unter den vielen Schwierigkeiten, welche den barometrischen Höhenmessungen entgegenstehen, auch solche sind, die sich nicht ganz überwinden lassen; daher sind auch die Resultate nur bis auf einen gewissen Grad zuverlässig. Die genauesten Höhenmessungen mittelst des Barometers sind genau bei 4000 F. ungefähr bis auf 8 — 10 F.

Barometerstände in einigen bekannten Höhen.

Auf d.	Chimborasso	steht d.	Barometer	bei 20100 F.	Höhe	auf	12⅚″
„	Montblanc	„	„	„ 14650	„	„	16″
„	Aetna	„	„	„ 10300	„	„	19″
„	St. Gotthard	„	„	„ 7600	„	„	21″
„	Brocken	„	„	„ 3650	„	„	24½″

Der mittlere Barometerstand an der Meeresfläche ist von dem Aequator nach den Polen hin zunehmend und zwar von 337 bis 338,8 Linien auf die Temperatur 0 reduzirt. Die Höhe der Atmosphäre hat man nach dem, in diesem und in dem vorigen Paragraphen erörterten Gesetzen auf 6 — 10 Meilen geschätzt.

Die erste Barometermessung wurde 1648 auf Pascal's Veranlassung zu Clermont in Auvergne auf dem Berge Puy de Dome angestellt.

Schwankungen des Barometerstandes.

§ 59. **Veränderungen des Barometerstandes.** Der Barometerstand ist, wie oben erwähnt, an demselben Orte nicht immer

derselbe, sondern er ändert sich fortwährend. Diese Veränderungen nennt man Schwankungen und unterscheidet periodische und zufällige Schwankungen. Erstere sind solche, welche regelmäßig zu gewissen Zeiten eintreten, letztere sind unregelmäßige.

A. v. Humboldt hat folgendes Gesetz gefunden: In den Aequatorialgegenden steht das Barometer um 9 Uhr Morgens am höchsten. Von da sinkt es bis 4 oder 4½ Uhr Nachmittags; dann steigt es bis 11 Uhr Abends, sinkt von da wieder bis 4 Uhr Morgens und steigt dann wieder bis 9 Uhr. Diese Schwankungen sind so regelmäßig, daß man aus dem Barometerstande die Zeit erkennen könnte, wenn sie nicht zu gering, also zu unmerklich wären; denn der Unterschied zwischen dem höchsten und dem niedrigsten Stande ist nur ungefähr $^{2}/_{25}$ Zoll.

Auch in unsern Gegenden finden solche periodische Schwankungen statt; aber sie werden durch die häufig dazwischen eintretenden zufälligen so sehr verwischt, daß man sie nur durch lange Beobachtungen erkennt. Im Winter findet ein Maximum des Barometerstandes Morgens um 9 Uhr und Abends um 9 Uhr statt, ein Minimum Nachmittags um 3 Uhr, im Sommer ein Maximum Morgens um 8 Uhr und Abends um 11 Uhr, ein Minimum Nachmittags um 4 Uhr.

Die Ursache der Barometerschwankungen ist die ungleiche und sich stets ändernde Erwärmung der Luftmasse, so wie die Aenderung des Wassergehalts derselben. Wird nämlich die Luft erwärmt, so steigt sie in die Höhe und fließt oben ab; das Barometer muß demnach fallen. Ebenso muß der Barometerstand niedriger werden, wenn sich die in der Luft enthaltenen Wasserdünste niederschlagen. Da jedoch die Spannung dieser Dünste höchstens einige Linien beträgt und dieselben sich niemals ganz niederschlagen, so ist der Einfluß des Feuchtigkeitszustandes der Atmosphäre auf den Barometerstand immer nur ein geringer.

Das Barometer als Wetterglas.

Ein Wetteranzeiger ist das Barometer nicht. In den Ruf eines solchen ist es nur dadurch gekommen, daß in unsern Gegenden öfter ein niedriger Barometerstand mit trübem Wetter oder Regen zusammenfällt. Die Süd- und Westwinde sind nämlich für uns warme und zugleich feuchte Winde. Wegen der ersten Eigenschaft bringen sie uns einen niederen Barometerstand, wegen der zweiten Regen oder doch trübes Wetter. Aendert sich die Windrichtung in den oberen Luftschichten früher, als in den unteren, so kann man wohl bisweilen an dem Barometer eine Wind- und somit Wetterveränderung einige Zeit vor deren Eintritt wahrnehmen. Ebenso ist vor oder bei starkem Winde der Barometerstand niedrig. Denn ist die Spannung der Atmosphäre in unsern Gegenden ungewöhnlich gering, so muß (nach dem Mariotte'schen Gesetze) aus andern Gegenden, wo die Spannung größer ist, Luft zuströmen, also Wind entstehen. Ist anderwärts die Spannung der Luft bedeutend geringer, als bei uns, so strömt die Luft von uns dorthin zu, und das Barometer muß bei uns fallen.

§ 60. Auf dem Drucke der Luft, ihrer Ausdehnsamkeit und der Eigenschaft, daß diese mit der Dichtigkeit in gleichem Verhältnisse wächst, beruhen eine Menge Erscheinungen und die Einrichtung vieler Instrumente. Z. B.:

Der Heber.

Fig. 75.



1) Der Heber (Fig. 75.) eine gebogene Röhre, an welcher der eine Arm länger ist, als der andere. Wird diese Röhre mit Wasser gefüllt und der kürzere Arm in ein Gefäß mit Wasser getaucht, so leert sich das Gefäß so weit, bis das Niveau unter die Oeffnung b gesunken ist.

Erklärung. Der Luftdruck auf die im Heber enthaltene Flüssigkeit ist bei a so groß wie bei b; aber von dem Drucke bei a wird durch die im längeren Schenkel sa enthaltene Wassersäule mehr aufgehoben, als von dem bei b. Daher erfolgt in der Röhre eine Bewegung von b nach a.

2) Intermittirende Quellen. Das sind solche, welche mit Unterbrechungen fließen.

Befindet sich in der Erde ein Bassin, welches mit einem Heber in Verbindung steht, so fließt das Wasser ab, sobald das Niveau im Bassin den höchsten Punkt des Hebers erreicht hat. Ist das Bassin geleert, so hört der Quell auf zu fließen, bis ersteres wieder gefüllt ist.

3) Das Athmen.

Das Einathmen geschieht durch Erweiterung, das Ausathmen durch Zusammendrückung der Lungen. Im ersten Falle wird die Luft in denselben verdünnt, im zweiten verdichtet.

Das Saugen.

4) Das Saugen, Rauchen, Trinken.

Indem man durch Zurückziehen der Zunge im Munde die Luft verdünnt, wird die aufzusaugende Flüssigkeit durch die äußere Luft in den Mund gedrückt.

Fig. 76.



5) Der Stechheber; eine Glasröhre, welche sich oben bauchig erweitert, und deren man sich bedient, um aus einem Fasse durch das Spundloch eine Probe der Flüssigkeit zu ziehen.

Wie wird mit dem Stechheber operirt und welche Vorgänge finden hier statt?

Die Handspritze, d. Saug- u. die Druckpumpe.

6) Die Handspritze, eine cylindrische Röhre, in welcher sich ein Kolben bewegt.

Wird die Spritze in Wasser getaucht, und der Kolben in die Höhe gezogen, so füllt sich der Cylinder mit Wasser. Warum?

7) Die Saugpumpe. (Fig. 76.) Sie besteht aus dem Stiefel a, dem Saugrohre b, dem Ausgußrohre c, dem durchbohrten Kolben d, und den beiden sich nach oben öffnenden Ventilen über dem Kolben und dem Saugrohre.

Auf welche Weise wird dieselbe benutzt und welche Vorgänge finden dabei statt?

Fig. 77.

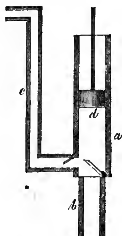
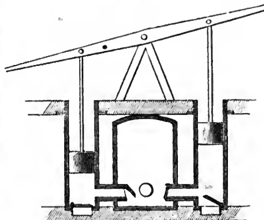


Fig. 79.



8) Die Druckpumpe. (Fig. 77.) Ihre Bestandtheile sind: der Stiefel a, das Saugrohr b, das Steigrohr c, der Kolben d und die beiden Ventile über dem Saugrohr und in dem Steigrohr.

Beschreibe und erkläre ihren Gebrauch.

9) Der Heronsball (Fig. 78.), ein verschlossenes Gefäß, durch dessen oberen Theil eine Röhre geht, die fast bis zum Boden reicht.

Der Heronsball, d. Feuerspritze.

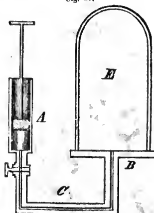
Heron von Alexandrien, 210 v. Chr.

Welches Experiment läßt sich mit ihm anstellen?

Fig. 78.



Fig. 80.



10) Die Feuerspritze (Fig. 79.) besteht aus zwei Druckpumpen, welche abwechselnd das Wasser in einen Heronsball (Windkessel genannt) treiben.

11) Die Luftpumpe. (Fig. 80.) Sie besteht erstens aus dem Stiefel A, in welchem sich ein Kolben bewegt. Zweitens dem Teller B, welcher mit dem Stiefel durch die Röhre C in Verbindung steht, und auf welchen die Glasglocke E (Recipient) gestellt wird, in welcher man die Luft verdünnen will, und endlich drittens, aus dem Hahne (Fig. 81.), welcher doppelt durchbohrt ist, so daß man den Stiefel

D. Luftpumpe.

Fig. 81.



einmal mit dem Recipienten und das anderemal mit der äußeren Luft in Verbindung setzen kann.

Wie verdünnt man die Luft in dem Recipienten?

Versuche mit d. Luftpumpe.

Versuche mit der Luftpumpe.

1) Der Recipient wird von dem äußeren Luftdrucke so auf den Teller gedrückt, daß man ihn erst dann wieder abnehmen kann, wenn man wieder Luft hat einströmen lassen.

2) Die Magdeburger Halbkugeln.

3) Setzt man als Recipient einen unten und oben offenen Metallcylinder auf den Teller und schließt ihn oben luftdicht mit einer Glasscheibe, so wird diese beim Auspumpen von der äußeren Luft zerdrückt; eben so eine Blase, mit der man den Cylinder schließt.

4) Nimmt man anstatt der Glasscheibe einen oben ausgehöhlten Holzdeckel und gießt Quecksilbrr darauf, so wird dieses durch das Holz gedrückt.

5) Versuch mit der Barometerprobe (ein kleines Barometer).

6) Der Heronsball springt unter dem Recipienten.

7) Ein verschrumpfter Apfel wird unter dem Recipienten ganz glatt; eine schlaffe Blase schwillt an und platzt wohl gar.

8) Aus einem Gefäße mit Wasser steigen an den Wänden Luftblasen in die Höhe, ein Beweis, daß sich zwischen dem Wasser und den Gefäßwänden eine Luftschicht befindet.

9) Eine Flaumfeder fällt im luftverdünnten Raume so schnell zu Boden, als ein Geldstück.

10) Eine unter dem Recipienten angeschlagene Glocke hört man nicht.

11) Laues Wasser kocht, kaltes Wasser kann zum Gefrieren gebracht werden.

12) Ein Licht verlischt.

13) Ausstrahlung der Electricität im luftleeren Raume.

Historisches.

Die Saugpumpe war schon lange vorher, ehe man den Luftdruck kannte, im Gebrauch: man erklärte sich das Aufsteigen des Wassers in derselben durch die Annahme, daß die Natur einen Abscheu vor dem leeren Raume habe. Um das Jahr 1643 machte man zufällig die Erfahrung, daß die Saugpumpe das Wasser nur 32 Fuß hoch hebe. Dies brachte Torricelli auf die Vermuthung, daß wohl die Schwere der Luft das Wasser in der Pumpe in die Höhe treibe. Er schloß nun: Wenn der Luftdruck einer Wassersäule von 32 F. das Gleichgewicht hält, so muß derselbe eine Quecksilbersäule von nur 28 Zoll Höhe tragen, da das Quecksilber $13\frac{1}{2}$ mal so schwer ist, als Wasser, und fand durch den in § 34 angeführten Versuch seine Ansicht bestätigt.

Die Luftpumpe wurde von Otto v. Guerike (1602 — 1686), Rathsherrn zu Magdeburg, erfunden und mit ihr zu Regensburg vor Kaiser Ferdinand III. experementirt.

Die Gebrüder Montgolfier ließen den ersten mit erwärmter Luft gefüllten Ballon 1783 den 5. Juni zu Anonay steigen. Bald darauf füllte Charles, ein bekannter Physiker zu Paris, einen Ballon mit Wasserstoffgas, welches fast 14 mal leichter ist, als atmosphärische Luft Sein cubischer Inhalt betrug 16000 Cub.-F. Es wiegen aber 16000 Cub.-F. Luft ungefähr 1299 Pfd., eben so viel Wasserstoff 93 Pfd.; er hatte demnach 1206 Pfd. Tragkraft. Charles stieg selbst nebst Robert mit diesem Ballon auf und erreichte binnen einigen Minuten eine Höhe von 2400 — 3000 F. In diesen Regionen legte er binnen 2 Stunden einen Weg von 5 Meilen zurück. Im Jahre 1804 machten Gay Lussac und Biot eine Luftreise zu wissenschaftlichen

Zwecken und erreichten dabei eine Höhe von 12700 F. Auf einer späteren Reise erreichte Gay Lussac eine Höhe von 22000 F., die höchste Höhe, bis zu welcher je ein Mensch gestiegen ist. Humboldt und Bonpland sind auf dem Chimborasso bis zu einer Höhe von 19400 F. gelangt. Gay Lussac's Thermometer zeigte in jener Höhe — 10° C, während am Boden eine Temperatur von + 30° C war. Die Luft ist in solcher Höhe ungemein trocken, der Himmel erscheint ganz dunkelblau. Gay Lussac legte binnen 6 Stunden 15 Meilen zurück und sank in der Nähe von Rouen nieder.

Dritter Abschnitt.

Der Schall.

A. Allgemeine Gesetze des Schalles.

§ 61. Erklärung. Schall ist jede Einwirkung auf unser Gehör. Ton nennt man einen Schall, wenn man Rücksicht auf seine Höhe und Tiefe nimmt. Was ein hoher oder tiefer Ton sei, läßt sich eben so wenig erklären, als, was bitter, salzig, was grün, gelb u. dgl. ist. Gefühls-Eindrücke lassen sich nicht definiren. Wodurch aber ein hoher oder tiefer Ton erzeugt wird, werden wir später sehen. Das Wort Klang wird in zweierlei Bedeutung gebraucht. Einmal bezeichnet man damit einen längere Zeit anhaltenden gleichförmigen Schall, z. B. „Was war das für ein Klang?" und ein andermal begreift man darunter gewisse Modifikationen der Schälle, namentlich der musikalischen Töne, ebenso wie man unter Farbe gewisse Modificationen des Lichteindrucks, unter Geschmack gewisse Modificationen des Eindrucks auf den Geschmacksnerv versteht. Man könnte also wohl sagen: Klang ist Tonfarbe. Auf verschiedenen Instrumenten kann man ein und denselben Ton angeben, aber er hat auf jedem einen andern Klang. Z. B. Auf der Violine klingt derselbe Ton anders, als auf der Flöte oder dem Flügel. Selbst Instrumente gleicher Art haben verschiedenen Klang. Man gebraucht hier jedoch in der Regel für Klang das Wort Ton. Z. B. Man sagt von einem Flügel, er habe einen weichen Ton, sollte heißen, einen weichen Klang. Während man für manche Arten des Geschmacks und der Farbe bestimmte Worte hat, z. B. sauer, süß, bitter; blau, grün, braun u. dgl., fehlen solche Worte für die verschiedenen Arten des Klanges fast gänzlich. Man behilft sich daher oft mit Worten, welche Gefühls-Eindrücke bezeichnen, wie hart: weich, rauh rc.

Erklärung von Schall, Ton, Klang.

Entstehung des Schalles.

§ 62. So oft ein fester Körper mit einer gewissen Geschwindigkeit vibrirt, z. B. eine Stimmgabel, eine Saite, hören wir einen Schall. Da nun unser Gehörnerv einen Eindruck erhält, ohne daß er von dem den Schall hervorbringenden Körper berührt wird, so nehmen wir an, daß jener Eindruck von verdichteten und verdünnten Luftschichten herrührt, welche nothwendig von einem so vibrirenden Körper erzeugt werden und unser Ohr treffen. Dies wird bestätigt

1) Dadurch, daß man keinen Schall hört, wenn die durch die Luft vermittelte Verbindung zwischen dem vibrirenden Körper und unserem Ohre aufgehoben wird, wenn z. B. der Körper im luftleeren Raume vibrirt.

Stellt man unter den Recipienten der Luftpumpe ein Uhrwerk mit einem Wecker, und löst diesen, nachdem man die Luft möglichst verdünnt hat, aus, so hört man keinen, oder doch nur einen sehr geringen Schall.

2) Dadurch, daß man auch in den Fällen, wo ein Schall auf andere Weise, als durch Vibrationen eines festen Körpers entsteht, z. B. durch Abschießen eines Gewehres, durch einen Peitschenschlag, durch den Blitz, durch Blasinstrumente das Entstehen solcher verdichteten und verdünnten Luftschichten beweisen kann.

In allen Fällen nämlich, in welchen eine Quantität Luft plötzlich aus ihrer Lage gedrängt wird, müssen solche verdichtete und verdünnte Luftschichten entstehen, ähnlich so, wie in einer größeren Wassermasse, in welcher man eine kleine Quantität Wasser plötzlich aus ihrer Lage drängt, z. B. indem man einen Stein hinein wirft, abwechselnd Wasserberge und Wasserthäler entstehen. Der Stein drängt das Wasser nach allen Seiten, und da dieses unzusammendrückbar ist, so muß rings um den Stein eine Erhöhung entstehen. Diese fließt nach außen und nach innen ab; die nach außen abfließende Wassermenge bildet auf der zunächst liegenden Fläche eine ringförmige Erhöhung und scheint so nach außen, sich immer mehr erweiternd, fortzuschreiten; das nach innen abfließende Wasser bildet einen Wasserkegel; dieser fließt wieder nach allen Seiten hin ab und bildet so eine neue kreisrunde Erhöhung, und so fort. Ein ähnlicher Vorgang muß nun in der Luft eintreten, wenn eine plötzliche Verschiebung einer Quantität Luft stattfindet. Da wir uns aber in der Luftmasse befinden und die Luft zusammendrückbar ist, so müssen statt der Erhöhungen und Vertiefungen verdichtete und verdünnute Luftschichten entstehen, und diese müssen nicht kreis-, sondern kugelförmig sein.

Erklärung von Schallwelle, Länge der Schallwelle.

Die kugelförmigen, verdichteten und verdünnten Luftschichten, welche von einem schallenden Körper ausgehen, heißen Schallwellen; die Dicke einer verdichteten und einer verdünnten Luftschicht zusammengenommen, nennt man Länge einer Schallwelle.

Bemerkung. Taucht man eine angeschlagene Stimmgabel mit den Spitzen der Zinken in Wasser, so zeigt sich die Wirkung auf dasselbe in Wellen, welche sich besonders in 2 Hauptrichtungen bewegen, nämlich in der Ebene der beiden Zinken und in der senkrecht darauf stehenden Richtung. Hieraus läßt

sich leicht auf die Wirkung schließen, welche die vibrirende Stimmgabel auf die Luft hervorbringen muß. Auch wird daraus klar, warum man bald einen schwachen, bald einen starken Ton hört, wenn man die angeschlagene Stimmgabel vertical ans Ohr hält und sie um ihre Achse dreht. — Interferenz des Schalles. —

§ 63. Aus der im vorigen Paragraphen erörterten Art der Entstehung und Verbreitung des Schalles lassen sich folgende Gesetze folgern, deren Richtigkeit durch die Erfahrung bestätigt wird: Gesetze, welche sich aus der Entstehung des Schalles ergeben.

1) Ein fester Körper ist desto geeigneter, einen Schall zu erzeugen, je elastischer er ist.

Denn die Vibrationen werden nur durch die Elasticität möglich. Zur Verfertigung von Saiten, Glocken, Stimmgabeln u. dgl. können nur elastische Materien gebraucht werden.

2) Die Fortpflanzung des Schalles erfordert eine gewisse Zeit, d. h. es vergeht eine gewisse Zeit, ehe der Schall von seinem Entstehungsorte bis zu unserem Ohre gelangt.

Denn jede Bewegung erfordert eine gewisse Zeit, folglich auch die der Schallwellen vom Entstehungsorte bis zu unserem Ohre.

Wird in der Ferne ein Gewehr abgeschossen, so folgt der Knall erst längere Zeit nach dem Blitze. Die Axt des Holzhauers sieht man früher auffallen, als man den Schlag hört. Soldaten, welche in einem langen Zuge nach der vorangehenden Musik marschiren, haben nicht gleichen Schritt; die letzten treten später auf als die ersten, wie man aus der verschiedenen Bewegung ihrer Helme sieht.

3) Die Stärke des Schalles nimmt ab, wie das Quadrat der Entfernung zunimmt.

Denn da die Schallwellen Hohlkugeln sind, die Oberflächen von Kugeln aber sich wie die Quadrate der Radien verhalten, so nimmt eine Schallwelle, welche n mal so weit vom Entstehungsorte des Schalles entfernt ist, als eine andere, einen n^2 mal so großen Raum ein, hat also n^2 mal weniger Intensität, als diese. Die Erfahrung lehrt auch, daß wir einen Schall desto schwächer hören, je weiter wir von dem Entstehungsorte entfernt sind.

4) Wenn die Schallwellen einen festen Körper treffen, so werden sie von demselben reflectirt.

Denn trifft eine verdichtete Luftschicht auf einen festen Körper, so muß sie rückwärts wieder die Luft verdichten.

Feste Körper erzeugen ein Echo.

Es soll nun die Fortpflanzung, die Stärke und die Reflexion des Schalles noch näher betrachtet werden.

§ 64. **Fortpflanzung des Schalles.** 1) Der Schall wird nicht nur durch luftförmige, sondern auch durch feste und Der Schall pflanzt sich auch durch feste und flüssige Körper fort.

flüssige Körper fortgepflanzt und zwar durch diese im Allgemeinen besser, als durch jene, d. h. wir hören ihn, wenn das Ohr mit dem schallenden Körper durch einen festen oder flüssigen Körper in Verbinbindung steht, unter sonst gleichen Umständen bis auf größere Enfernungen, und wie wir nachher sehen werden, auch früher, als wenn er durch die Luft zum Ohre gelangt.

Den Kanonendonner, den Hufschag der Pferde, das Marschiren von Soldaten hört man in größerer Entfernung, wenn man das Ohr auf die Erde legt. Das Ticken einer Taschenuhr hört man deutlicher und auf größere Entfernung, wenn man sie auf das eine Ende eines langen Stabes legt und das Ohr an das andere Ende des Stabes hält. Derselbe Versuch läßt sich mit einer Stimmgabel anstellen.

Daß das Wasser den Schall fortleitet, erkennt man daraus, daß man das Zusammenschlagen zweier Steine unter dem Wasser auch über demselben hört.

Die Bewegung des Schalles ist gleichförmig.

2) Die Fortpflanzung des Schalles geschieht mit gleichförmiger Geschwindigkeit, und zwar beträgt dieselbe in der Luft ungefähr 1050 Fuß.

Genaue Versuche über die Fortpflanzung durch die Luft wurden im Juni 1822 an einem windstillen Abende bei Paris von Prony, Arago, Mathieu, Humbold, Gay Lussac und Bouvard angestellt, indem diese sich auf zwei Stationen vertheilten und von 10 zu 10 Minuten Kanonenschüsse abfeuern ließen, von denen man Bliß und Knall auf beiden Stationen wahrnehmen konnte.

Die Fortleitung durch feste Körper haben Biot und Gay Lussac mittelst der fast 3000 Fuß langen eisernen Wasserleitungsröhren von Paris beobachtet. Ein an dem einen Ende derselben erzeugter Schall wurde an dem anderen zweimal gehört, indem er sich einmal durch das Eisen, und einmal durch die in der Röhre enthaltene Luft, und zwar mit verschiedener Geschwindigkeit, fortpflanzte.

Versuche über die Fortleitung in Wasser haben Sturm und Collabon auf dem Genfer See angestellt.

Die Geschwindigkeit ist in verschiedenen Materien verschieden;

3) Verschiedene feste Materien leiten den Schall mit verschiedener Geschwindigkeit fort. Dasselbe gilt für die flüssigen und luftförmigen Körper.

Chladni hat z. B. gefunden:

die Geschwindigkeit	des	Schalles	in Fischbein	ist	6⅔	mal
"	"	"	"	in Pflaumbaumholz	"	19⅔	"
"	"	"	"	in Birnbaumholz	"	12½	"
"	"	"	"	in Lindenholz	"	15	"
"	"	"	"	in Glas	"	16⅔	"
"	"	"	"	in Eisen	"	16⅔	"
"	"	"	"	in Tannenholz	"	18	"

so groß als in der Luft.

Die Geschwindigkeit	des Schalles	ist	in	Aether	.	.	3324.
"	"	"	"	" "	Alkohol	.	3702.
"	"	"	"	" "	Terpentinöl	.	4083.
"	"	"	"	" "	Wasser	. .	4649.
"	"	"	"	" "	Quecksilber	.	4748.

4) Ein und dieselbe Materie leitet den Schall mit verschiedener Geschwindigkeit, wenn der Zustand der Massentheilchen verschieden ist. oft auch in derselben Materie verschieden;

Z. B. ein und dieselbe Holzart von verschiedenen Stämmen genommen, leitet den Schall mit verschiedener Geschwindigkeit fort.

Bei ein und derselben Luftart ist die Leitungsfähigkeit desto größer, je größer ihre Expansion ist, also namentlich in der Luft.

a. je dichter sie bei derselben Temperatur ist.

In der Taucherglocke soll der Schall unerträglich, auf hohen Bergen so schwach sein, daß man nur auf geringe Entfernung gesprochene Worte verstehen kann.

b. Je wärmer sie bei gleicher Dichtigkeit ist.

Z. B. die Geschwindigkeit des Schalles in der atmosphärischen Luft ist

bei	— 10° R.	= 1003,8	Fuß.
"	0 "	= 1027	"
"	+ 10 "	= 1050	"
"	+ 20 "	= 1074	"
"	+ 30 "	= 1096	"

Anmerkung. Die oben stehende Tabelle für Flüssigkeiten gilt für eine Temperatur von + 10° R.

c. Die Feuchtigkeit vermindert die Expansion der Luft, daher auch ihre Leitungsfähigkeit.

Bei nebligem Wetter hört man den Knall der Jagdgewehre schwächer und auf kürzere Entfernung, als bei heiterem.

5) Die Geschwindigkeit des Schalles ist unabhängig von der Schallquelle und der Höhe oder Tiefe des Schalles.

Der Knall eines Gewehres pflanzt sich mit derselben Geschwindigkeit fort, als der Ton der menschlichen Stimme. Wenn verschiedene Töne sich mit verschiedener Geschwindigkeit fortpflanzten, so müßte ein Concert, in größerer Entfernung gehört, ganz harmonielos klingen.

§ 65. Stärke des Schalles. Die Stärke des Schalles und also auch die Entfernung, bis zu welcher sich der Schall fortpflanzt, läßt sich nicht messen, da wir zur Messung dieser Größen bis jetzt nur ein sehr unzuverläßiges Instrument besitzen, nämlich unser Ohr. Nur im allgemeinen wissen wir, daß man einen Schall desto stärker und in desto größerer Entfernung hört, Die Stärke des Schalles.

1) Je größer die vibrirende Masse ist.

Große Glocken geben einen stärkeren Schall als kleine; die Baßgeige einen stärkeren, als die Violine.

2) Je weiter die Schwingungen des schallenden Körpers sind.

Je stärker man eine Saite oder eine Glocke und dergl. anschlägt, einen desto stärkeren Ton giebt sie.

3) Je größer die Leitungsfähigkeit des fortpflanzenden Mittels ist. Siehe § 64, Nr. 4.

4) Je weniger Störungen die Schallwellen durch andere Schälle erleiden.

Des Nachts hört man jeden Schall viel weiter, als am Tage. Ueberall, wo Geräusch ist, muß man lauter sprechen, um verstanden zu werden, als an ruhigen Orten. In den nördlichen Gegenden soll man die menschliche Stimme viel weiter vernehmen, als in den Aequatorialgegenden. Warum?

Das Echo.

§ 66. Zurückwerfung des Schalles. Treffen Schallwellen eine feste Ebene, so müssen sie nach den Bewegungsgesetzen und dem Mariotte'schen reflectirt werden, und zwar unter demselben Winkel, unter welchem sie auffallen. Hiernach scheint es, als müsse man so oft ein Echo hören, als der Schall eine feste Ebene trifft, z. B. in jedem Zimmer. Unser Ohr aber ist (wie jedes andere Sinnesorgan) so eingerichtet, daß es nur Eindrücke, die in Pausen auf einander folgen, von einander zu unterscheiden vermag. Die Erfahrung lehrt nämlich, daß man in der Secunde nur ungefähr 9 Schälle hören kann. Man kann daher nur solche Schälle von einander unterscheiden, welche in Pausen von wenigstens $1/9$ Secunde auf einander folgen. Kommt also das Echo in kürzerer Zeit zurück, als in $1/9$ Secunde, so fällt es für unser Ohr mit dem ursprünglichen Schalle zusammen.

Dreht man ein Rad sehr schnell um seine Achse, so kann man die einzelnen Speichen nicht sehen. Fährt man sehr schnell mit dem Finger über ein Brett, auf welchem sehr nahe aneinander Vertiefungen eingeschnitten sind, so fühlt man die einzelnen Vertiefungen nicht; und fährt man mit einem Stäbchen darüber hin, so hört man nur einen zusammenhängenden Ton.

Aus diesen Betrachtungen ergiebt sich nun:

Ein- und mehrsylbiges, ein- und mehrfaches Echo.

1) Ein Echo kann nur gehört werden, wenn die reflectirende Ebene wenigstens 58 Fuß von dem Entstehungsorte des Schalles entfernt ist; jede nähere Ebene verstärkt nur den Schall.

2) Ein mehrsylbiges Echo, d. i. ein solches, welches ein mehrsylbiges Wort wiedergiebt, kann nur entstehen, wenn der reflectirende Gegenstand mehrmals 58 Fuß weit entfernt ist.

3) Ein mehrfaches Echo, d. i. ein solches, welches dasselbe Wort mehrmals wiederholt, entsteht, wenn mehrere reflectirende Ebenen

vorhanden sind, deren Entfernungen vom Entstehungsorte des Schalles immer wenigstens 58 Fuß von einander verschieden sind.

4) Ein Echo, welches nicht an dem Entstehungsorte des Schalles, sondern an einem andern Orte gehört wird, wird erzeugt, wenn die Schallwellen eine reflectirende Ebene in schiefer Richtung treffen, und die Strecke vom Entstehungsorte des Schalles bis zur reflectirenden Ebene und von da bis zum Beobachtungsorte wenigstens 58 Fuß größer ist, als die Distancen zwischen diesem und dem Entstehungsorte.

5) Das vollkommenste Echo müßte man in dem Mittelpunkte einer Hohlkugel, von einem daselbst erzeugten Schalle, oder in dem Brennpunkte eines Ellipsoides von einem aus dem andern Brennpunkte ausgehenden Schalle hören.

Es giebt Kirchen, in denen zwei an gewissen Punkten stehende Personen sich leise mit einander unterhalten können, während die dazwischen stehenden nichts vernehmen.

Aber nicht bloß Ebenen und nach bestimmten Gesetzen gekrümmte Flächen, sondern auch Gegenstände von ganz unregelmäßiger Gestalt, wie Bäume, Felsen und dergl., sogar Wolken können ein Echo erzeugen.

Auf Chausseen wird der Peitschenknall von den Bäumen oft vielfach reflectirt. Ebenso in Kieferwäldern. Ein vielfaches, mehrsylbiges Echo ist in Adersbach in Böhmen, auf der Heuscheuer in der Grafschaft Glatz. In großen Sälen, in Kirchen hört man oft zwar kein reines Echo, aber einen sogenannten Nachhall, wodurch das Verstehen gesprochener Worte sehr erschwert wird. Selbst in Stuben ist bisweilen eine Art Echo bemerkbar, was sich nur aus mehrmaliger Reflexion des Schalles erklären läßt. Mitten auf dem Meere hört man öfter ein Echo, wenn der Himmel bewölkt ist.

§ 67. Da man einen Schall auch durch feste Körper hindurch, d. h. auch dann hört, wenn die den schallenden Körper umgebende Luftmasse von der des Beobachtungsortes durch feste Scheidewände getrennt ist, so läßt sich vermuthen, daß die festen Körper die Schallwellen der Luft nicht bloß zurückwerfen, sondern daß sie durch dieselben selbst in ähnliche Schwingungen versetzt werden, und diese der auf der andern Seite befindlichen Luft mittheilen. Feste Körper werden durch den Schall in Schwingungen versetzt.

Flügelspiel, Gesang, Gespräche u. dergl. hört man durch Wände, durch Decken der Zimmer hindurch.

Diese Vermuthung wird bestätigt:

1. Dadurch, daß diese trennenden Körper den Schall desto stärker fortpflanzen, je dünner und elastischer sie sind.

2. Dadurch, daß viele Körper, namentlich sehr dünne, leichte und dabei elastische, z. B. Fensterscheiben, die Saiten eines Instruments,

dessen Resonanzboden u. dergl., durch starke Schälle in fühlbare Vibrationen versetzt werden.

Dabei macht man die Erfahrung, daß solche Körper, besonders wenn sie in unmittelbarer Berührung mit dem schallenden Körper stehen, den Ton desselben verstärken.

Der Ton der Stimmgabel wird auffallend stärker, wenn man sie auf irgend einen festen Körper, z. B. auf eine Tischplatte, aufsetzt. Dieselbe Wirkung bringt der Resonanzboden der Saiten-Instrumente auf die Töne der Saiten hervor; ja derselbe ist sogar der eigentlich tönende Körper; denn ohne einen solchen hört man den Ton der Saiten kaum.

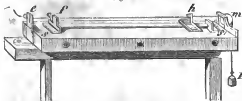
Daraus läßt sich schließen, daß solche mittönende Körper durch ihre Vibrationen denselben Ton erzeugen, als der ist, durch welchen sie zum Vibriren veranlaßt werden. Und da nun verschiedene Töne durch ein und denselben Körper (z. B. den Resonanzboden) verstärkt werden, so muß ein und derselbe Körper verschiedene Töne hervorzubringen im Stande sein.

B. Die musikalischen Töne und die Schwingungen der sie erzeugenden Körper.

Bestimmung der Schwingungsmengen für Töne, welche durch Saiten hervorgebracht werden;

§ 68. Der Erfahrung gemäß erzeugt eine schwingende Saite nur dann einen Ton, wenn die Schwingungen eine gewisse Geschwindigkeit haben, und dann ist der Ton desto höher, je größer die Geschwindigkeit ist.

Fig. 82.



Die hierher gehörigen Versuche lassen sich am besten mittelst des von Savart angegebenen Monochord's (Fig. 82.) anstellen. Es besteht aus einem hohlen Kasten ss, auf welchem eine Saite befestigt ist, die über einen festen f und einen beweglichen Steg h geht, und durch ein Gewicht p gespannt wird.

Die Geschwindigkeit der Schwingungen ist aber desto größer, je stärker die Saite angespannt, je kürzer, je dünner sie ist, und je weniger dicht ihre Materie. Und zwar gilt für die Schwingungsmengen zweier Saiten, die sie in gleichen Zeiten machen, folgende Proportion:

$$m : M = \frac{\sqrt{k}}{l \cdot r \sqrt{d}} : \frac{\sqrt{K}}{L R \sqrt{D}}$$

wo k die spannende Kraft, l die Länge, r den Radius des Querdurchschnittes und d die Dichtigkeit der Saite bezeichnet.

Dies Gesetz ist von Lagrange im Jahre 1759 gefunden.

Eine 5mal so lange Saite macht demnach unter sonst gleichen Umständen in derselben Zeit 5mal weniger Schwingungen; ferner, wenn von zwei ganz

gleichen Saiten die eine mit einer 9mal so großen Kraft gespannt wird, als eine andere, so macht sie 3mal so viel Schwingungen u. s. w.

Da man nun für gewisse Werthe von k, l, d und r die Schwingungsmengen geradezu zählen kann, so läßt sich vermittelst jener Proportion auch für alle anderen Werthe dieser Größen die Menge der Schwingungen berechnen und also auch finden, wie viele Schwingungen, oder, was dasselbe ist, wie viele Schallwellen in einer Secunde jeder Ton erfordert.

Gesetzt, zwei Saiten von gleicher Dicke und gleicher Materie sind gleich stark gespannt, aber die eine ist $\frac{3}{4}$mal so lang, als die andere, und man weiß, daß die längere Saite in einer Secunde 300 Schwingungen macht, so gilt für die Schwingungsmengen der beiden Saiten die Proportion

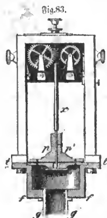
$$x : 300 = \frac{\sqrt{k}}{\frac{3}{4}\, l \,.\, r\sqrt{d}} : \frac{\sqrt{k}}{l \,.\, r\sqrt{d}} = \frac{4}{3} : 1.$$

Folglich $x = \frac{4}{3} \,.\, 300 = 400.$

Man ersieht also hieraus, daß der Ton, welchen die kürzere Saite hervorbringt, durch 400 Schwingungen oder Schallwellen in einer Secunde hervorgebracht wird.

Auch für Töne, welche dadurch hervorgebracht werden, daß ein Luftstrom die Luft in Schwingungen versetzt, läßt sich die Menge der Schallwellen einer Secunde finden, und zwar vermittelst der sogenannten Syrene, eines von Cagniard de la Tour erfundenen Instrumentes. (Fig. 83.) für Töne, welche durch einen Luftstrom hervorgebracht werden.

Fig. 83.



tt' ff' ein hohler Cylinder, dessen obere Deckplatte mit einer gewissen Anzahl von schräg gebohrten, kreisförmig gestellten Löchern versehen ist. (Fig. 84.) Auf dieser dreht sich die Platte pp', welche auf dieselbe Weise durchbohrt ist, wie die Deckplatte, nur daß die Löcher eine entgegengesetzte Richtung haben. pp' befindet sich an der Achse x, welche oben eine Schraube ohne Ende trägt. Diese Schraube greift in 2 gezähnte Räder, von denen jedes einen Zeiger trägt dd' (Fig. 85.), der die Menge der Umläufe der Welle angiebt. Die Platte pp' wird in Bewegung gesetzt, indem man vermittelst eines Rohres durch die Oeffnung gg' in den hohlen Cylinder bläst.

Fig. 84.

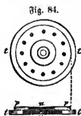


Fig. 85.



Außerdem hat man die Menge der Schwingungen für diejenigen Töne bestimmt, welche entstehen, wenn die Zähne eines Zahnrades oder ein um eine verticale Achse horizontal sich drehender Stab an ein dünnes Metallblättchen schlägt.

Aus allen diesen Versuchen und Berechnungen hat sich nun das Gesetz ergeben:

Die Höhe der Töne hängt nur von der Menge der in einer Secunde erzeugten Schallwellen ab; zu gleichen Tönen gehören gleich viel Schallwellen, mag die Schallquelle sein, welche sie wolle.

Da alle Töne, hohe und niedere, sich mit gleicher Geschwindigkeit, nämlich mit einer Geschwindigkeit von 1050′ verbreiten, so läßt sich aus der Menge der Schallwellen in einer Secunde auch deren Länge berechnen.

Die Höhe der Töne hängt von der Schallwellenlänge ab.

Die Schallwellenlänge eines Tones nämlich, der durch m Schwingungen in einer Secunde erzeugt wird, ist $= \frac{1050}{m}$ Fuß.

Ist z. B. für einen gewissen Ton die Menge der Schwingungen in einer Secunde = 525, so erhält ein Beobachter, welcher sich 1050 Fuß vom Entstehungsorte des Tones befindet, die erste Schallwelle nach einer Secunde; folglich befinden sich zwischen ihm und dem den Ton erzeugenden Instrumente 525 Schallwellen; folglich beträgt die Länge einer jeden $\frac{1050'}{525}$ d. i. 2 Fuß.

Hiernach kann man das vorhin genannte Gesetz auch so aussprechen:

Gleiche Töne haben gleiche Schallwellenlänge, oder

Die Höhe des Tones hängt von der Länge der Schallwellen ab.

Der tiefste hörbare Ton wird durch 15, der höchste durch 48000 Schallwellen in der Secunde hervorgebracht.

Die Tonleiter. Intervall.

§ 69. Von den unendlich vielen Tönen, welche sich überhaupt hervorbringen lassen, benutzt die Musik nur eine gewisse Anzahl zu ihren Tonstücken. Man bezeichnet diese mit den 7 Buchstaben c, d, e, f, g, a, h, und zwar die sieben tiefsten mit großen, die nächsten sieben mit kleinen Buchstaben; für die folgenden versieht man diese Buchstaben mit einem Striche ($\bar{c}$), dann mit zwei Strichen ($\bar{\bar{c}}$) und so fort. Den mit großen Buchstaben bezeichneten gehen noch einige voran, welche man Contratöne nennt.

Um für neu zu erbauende Instrumente immer wieder die einmal gebräuchlichen Töne zu treffen, oder verstimmte Instrumente wieder auf diese zurückzuführen, bedient man sich der Stimmgabel, da diese ihren Ton nicht verändert.

Der Unterschied der Höhe zweier Töne heißt Intervall.

Die Intervalle kann man durch Zahlen ausdrücken, indem man angiebt, wie viel mal mehr Schallwellen in gleicher Zeit zu dem höheren Tone gehören, als zu dem tieferen. Diese Zahlen sind für jede Gruppe der sieben Töne von c bis zum nächsten c immer dieselben, nämlich folgende:

Intervalle zwischen dem Grundtone und den übrigen Tönen der Tonleiter.

c	d	e	f	g	a	h	c
1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2.

D. h. In derselben Zeit, in welcher c eine Schwingung macht, macht d $\frac{9}{8}$, e $\frac{5}{4}$ Schwingungen u. s. w.

Wenn daher eine Saite in ihrer ganzen Länge den Ton c angiebt, so erhält man die folgenden sieben Töne, wenn man

$$8/9 \quad 4/5 \quad 3/4 \quad 2/3 \quad 3/5 \quad 8/15 \quad 1/2$$

ihrer Länge schwingen läßt.

Jede Gruppe von 8 Tönen, welche die oben angegebenen Intervalle haben, nennt man Tonleiter; den ersten davon den Grundton, oder die Prime, den zweiten die Secunde, deu dritten die Terz u. s. w. bis zur Octave.

Die Intervalle je zwei auf einander folgender Töne der Tonleiter sind, wie man aus ihren Zahlen ersieht, nicht gleich; sie sind nämlich folgende:

Intervalle zwischen je zwei auf einanderfolgenden Tönen der Tonleiter.

I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.
$9/8$	$10/9$	$16/15$	$9/8$	$10/9$	$9/8$	$16/15$	

Z. B. zur Quarte gehören in derselben Zeit $\frac{4}{3}$ Schwingungen, in welcher zur Terz $\frac{5}{4}$ gehören. Die Zahl für das Intervall der beiden Töne ist also $\frac{4}{3} : \frac{5}{4} = \frac{16}{15}$.

Nimmt man daher einen andern Ton, als c zum Grundtone, so haben die in der obigen Reihe auf einander folgenden Töne nicht das zur Tonleiter erforderliche Höhenverhältniß. Um dieß zu erreichen, schaltet man zwischen jene 7 Töne noch andere ein, nämlich cis, dis, eis, fis, gis, ais und his, und um nun wieder jeden dieser Töne als Grundton annehmen zu können, schiebt man noch die Töne ces, des, es, fes, ges, as und b ein. Jeder der ersten wird durch $25/24$, jeder der letzteren durch $24/25$ mal so viel Schwingungen hervorgebracht, als der entsprechende Ton c, d, e u. s. w. Z. B. cis erfordert $25/24$ mal so viel als c, ces $24/25$ mal so viel als c.

Zwar erreicht man auch durch diese Töne noch nicht für jeden Grundton dieselbe Tonleiter, die man für c hat, zumal da man gewöhnlich für cis und des für dis und es u. s. w., nur einen Ton gebraucht; aber die Abweichung ist so gering, daß sie keinen unangenehmen Eindruck macht und auch nur von einem sehr geübten Ohre wahrgenommen wird.

Auf der Violine ist man im Stande, für jeden Grundton die Tonleiter genau richtig zu spielen, auf dem Flügel nicht.

Das Wort Ton wird auch als Maß für die Intervalle gebraucht; man nennt nämlich das Intervall $9/8$ einen großen ganzen Ton, $10/9$ einen kleinen ganzen, $16/15$ einen großen halben und $25/24$ einen kleinen halben Ton.

Erläuterung. Die Intervalle der Tonleiter, welche c zum Grundton hat, sind, wie wir gesehen haben:

c	d	e	f	g	a	h	c
I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.
$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{16}{15}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{16}{15}$.	

Nimmt man g als Grundton an und wollte die Tonleiter in folgender Weise bilden: g, a, h, c, d, e, f, g, so würde die VII. von der VI. nur um einen großen halben Ton und die VIII. von der VII. um einen ganzen Ton verschieden sein, während es doch umgekehrt sein muß. Um nun ungefähr dasselbe Höhenverhältniß zu erhalten, nimmt man anstatt f, fis, aber dann ist das Höhenverhältniß doch nicht genau so, wie in der Tonleiter für den Grundton c, denn es sind hier die Intervalle:

g		a		h		c		d		e		fis		g
I.		II.		III.		IV.		V.		VI.		VII.		VIII.
	$\frac{10}{9}$		$\frac{9}{8}$		$\frac{16}{15}$		$\frac{9}{8}$		$\frac{10}{9}$		$\frac{10}{9}$		$\frac{27}{25}$	

Beschaffenheit der Schwingungen tönender Saiten,

§ 70. Schwingungen der Saiten. Wird eine Saite am Ende ihres ersten Drittheils oder Viertheils oder Fünftheils u. s. w. unterstützt, und der so getrennte aliquote Theil mit dem Violinbogen in Schwingungen versetzt, so geräth das andere Stück der Saite ebenfalls in Schwingungen, und zwar so, daß zwischen je zwei entsprechenden aliquoten Theilen ein Ruhepunkt (Schwingungsknoten) bleibt.

Denn setzt man an verschiedenen Punkten gebogene Papierstreifen auf die Saite und streicht den getrennten aliquoten Theil mit dem Violinbogen, so fallen alle Papierstreifen herunter, außer denjenigen, welche auf den Schwingungsknoten sitzen.

Man kann aber auch dadurch eine Saite in aliquoten Theilen schwingen machen, daß man sie am Ende des ersten Drittheils oder Viertheils und dergl. ganz leise mit dem Finger berührt und das übrige Stück der Saite streicht; nur darf man den Bogen nicht da ansetzen, wo die Schwingungsknoten entstehen, sonst erhält man gar keinen Ton. Der entstehende Ton ist derjenige, welchen ein solcher aliquoter Theil giebt, wenn er allein schwingt. (Flageolet-Töne.)

Legt man z. B. den Finger ganz leise an das Ende des ersten Viertheils, so erhält man den Ton, welcher durch ein Viertheil der ganzen Saite hervorgebracht wird, d. i. die zweite Octave von dem Tone der ganzen Saite.

Wird eine Saite angeschlagen, so tönt sie eine Zeit lang fort, und dabei hört man nach und nach die Töne, deren Schwingungsmengen sich wie 1, 2, 3, 4 zu einander verhalten, nämlich den Grundton, die Octave, die nächstfolgende Quinte und die zweite Octave. Es scheinen also nach und nach Schwingungsknoten, erstens zwischen den beiden Hälften, dann zwischen den Drittheilen und endlich zwischen den Viertheilen zu entstehen.

tönender Scheiben,

§ 71. Schwingungen elastischer Scheiben. Auch elastische Scheiben lassen sich durch Streichen mit dem Violinbogen in schallende Schwingungen versetzen und verhalten sich dabei ganz ähnlich wie schwingende Saiten, nämlich:

1) Durch ein und dieselbe Scheibe kann man sehr viele Töne hervorbringen, indem man sie an verschiedenen Stellen langsamer oder schneller streicht, oder sie an verschiedenen Stellen festhält u. dergl.

2) Es bilden sich auch hier ruhende Punkte oder vielmehr Linien, die man durch aufgestreuten Sand sichtbar machen kann. (Chladni'sche Figuren.)

3) Der Ton ist desto höher, in je kleineren Theilen die Scheibe schwingt.

§ 72. **Schwingungen von Luftsäulen, welche in Röhren eingeschlossen sind.** Vermittelst der Blasinstrumente werden die Töne erzeugt, indem man die in einer Röhre befindliche Luftsäule durch Hineinblasen einer dünnen Luftschicht in Schwingungen versetzt. tönender Luftsäulen

Daß nicht die feste Materie, aus welcher die Blasinstrumente bestehen, durch ihre Schwingungen den Ton hervorbringt, geht daraus hervor, daß manche solcher Instrumente aus ziemlich unelastischer Materie verfertigt werden (Holz, Zinn), und doch einen sehr guten Ton geben, und daß der Ton unverändert bleibt, wenn man das Instrument mit der Hand festhält und dadurch seine Schwingungen stört.


Fig. 86. Fig. 87.

Das einfachste Blasinstrument ist die Orgelpfeife und daher zu physicalischen Versuchen am meisten geeignet. (Fig. 86.) Man unterscheidet an ihr den Fuß (Fig. 87.) p, den Mund bb und die Röhre, welche die schwingende Luftsäule enthält.

Der Ton der Orgelpfeife ist im Allgemeinen von ihrer Länge, weniger von der Weite abhängig, so daß Pfeifen von gleicher Länge gleiche Töne geben, wenn ihre Weite auch etwas verschieden ist. Dabei unterscheiden sich die oben offenen Pfeifen von den geschlossenen.

Eine oben offene Pfeife giebt als Grundton denjenigen, dessen Wellenlänge gleich der Länge der Röhre ist, vorausgesetzt daß ihre Länge wenigstens 10—12 mal so groß ist, als ihr Durchmesser und ihre Wände fest genug sind. Sind die Wände zu dünn, so erhält man die Octave des genannten Tones. Durch verstärktes Anblasen erhält man diejenigen Töne, deren Schwingungsmengen sich zu der des Grundtons wie 2, 3, 4 u. s. w. zu 1 verhalten, aber auch nur diese. in offenen Orgelpfeifen,

Bei dem Tone 2 befindet sich zwischen der Hälfte, bei 3 zwischen den Drittheilen, bei 4 zwischen den Viertheilen rc. eine Luftschicht, die sich zwar etwas auf- und abbewegt, aber weder verdichtet, noch verdünnt ist, ein Bauch genannt, wie daraus hervorgeht, daß man an diesen Stellen eine Oeffnung machen kann, ohne den Ton zu ändern. Die Luftsäule schwingt hier also in aliquoten Theilen, und der Ton ist derjenige, welchen ein solcher aliquoter Theil als Grundton hervorbringt.

Eine geschlossene Röhre giebt als Grundton einen doppelt so tiefen, als eine gleich lange offene; die Wellenlänge desselben ist also doppelt in geschlossenen Orgelpfeifen.



Fig. 88.

so groß, als die Länge der Röhre. Man schreibt diese Erscheinung einer Reflexion am Deckel zu.

Durch verstärktes Anblasen erhält man die Töne, deren Schwingungsmengen sich zu der des Grundtons verhalten wie 3, 5, 7 rc. zu 1.

Beim Tone 3 entsteht zwischen dem zweiten und dritten Drittheil ein Bauch; denn bohrt man hier ein Loch in die Röhre, so bleibt der Ton unverändert.

Es schwingt demnach die in ag (Fig. 88.) enthaltene Luft für sich, wie in einer offenen Pfeife, und die in bf enthaltene Luft ebenfalls für sich, wie in einer geschlossenen Pfeife, woher es denn klar ist, daß der Ton 3 entsteht.

Beim Tone 5 entsteht zwischen dem zweiten und dritten und zwischen dem vierten und fünften Fünftheil der Röhre ein Bauch.

In den ersten vier Fünftheilen schwingt die Luft wie in einer offenen Röhre, in deren Mitte sich durch verstärktes Anblasen ein Bauch gebildet hat, in dem letzten Fünftheil wie in einer geschlossenen Röhre.

Die in den Orgelpfeifen schwingenden Luftsäulen zeigen demnach ganz ähnliche Erscheinungen, wie die vibrirenden Saiten und Platten, nämlich: 1) durch die Vibrationen ein und derselben Luftsäule können verschiedene Töne hervorgebracht werden; 2) bei den höheren Tönen schwingt die Luftsäule in aliquoten Theilen, und 3) diese Theile sind desto kleiner, je höher der Ton ist.

Zungenpfeifen und andere Blas-Instrumente.

In Zungenpfeifen wird durch einen Luftstrom ein Metallplättchen zum Vibriren gebracht und dieses setzt wieder die in der Röhre enthaltene Luftsäule in Schwingungen.

Bei andern Blas-Instrumenten werden die verschiedenen Töne theils durch die verschiedene Art des Anblasens, wie z. B. bei der Trompete, dem Horne, theils durch Verkürzung und Verlängerung der schwingenden Luftsäule mittelst Löcher und Klappen hervorgebracht, z. B. bei der Flöte, der Clarinette und dergl. Beim Fagott, dem Hautbois und der Clarinette ist das Mundstück ein Zungenwerk.

C. Das Ohr und das Stimmorgan.

Beschreibung des Ohres.

§ 73. Das Ohr. Von dem äußeren Ohre, der Ohrmuschel a (nachsteh. Fig. 89.), führt der Gehörgang b nach der Paukenhöhle, die durch das Trommelfell c geschlossen ist. An dieses ist der Hammer m (nachsteh. Fig. 90.) angewachsen, an welchen sich hinter einander der Ambos o, das Linsenkörperchen l und der Steigbügel t anschließen. Diese 4 Knöchelchen sind beweglich mit einander verbunden. Der Steigbügel verschließt mit seinem unteren Theile das ovale Fensterchen v, welches nach dem Labyrinthe (nachsteh. Fig. 91.) führt. Dieses besteht aus dem Vorhofe mit zwei halbkreisförmigen Canälen und der Schnecke s.

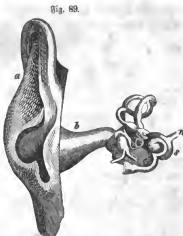


Fig. 89.



Fig. 90.



Fig. 91.

In dem Labyrinthe befindet sich das Labyrinthwasser, in welchem die Enden des akustischen Nerves schwimmen. Außerdem steht die Paukenhöhle noch durch das runde Fensterchen, welches durch ein dünnes Häutchen verschlossen ist, mit dem Labyrinthe, und durch die Eustachische Röhre mit der Mundhöhle in Verbindung. Durch letztere wird die Luft in der Paukenhöhle erneuert und mit der äußeren Luft in gleicher Spannung erhalten.

Ein zu heftiger Knall wird dem Ohre weniger gefährlich, wenn man den Mund öffnet. Bei offenem Munde hört man besser, als bei geschlossenem.

Bewunderungswürdig sind die Leistungen des Ohres; denn es unterscheidet nicht nur genau die Höhe und Tiefe der Töne und ihren Klang, sondern es vermag auch, wenn eine ganze Menge von Tönen zugleich das Trommelfell treffen, z. B. in Concerten, oder wenn mehrere Personen zugleich sprechen, die einzelnen Töne und Worte von einander zu unterscheiden. Ebenso erkennt man die Richtung, in welcher ein Schall zu uns kommt, so wie die Entfernung der Schallquelle, wiewohl das Ohr hierbei leicht Täuschungen ausgesetzt ist.

Das Stimmorgan besteht aus der Luftröhre mit dem Kehlkopfe und den beiden Lungenflügeln. Die Luftröhre ist aus nicht vollständig geschlossenen Knorpelringen zusammengesetzt, so daß längs der ganzen Luftröhre ein Spalt bleibt, welcher durch ein Muskelband geschlossen ist. Unten theilt sie sich in zwei Hauptäste, deren Zweige sich wie die Wurzeln eines Baumes verbreiten und nach den Zellen der beiden Lungenflügel führen. Oben endet die Luftröhre in den Kehlkopf, der aus vier Knorpeln zusammengesetzt ist, nämlich dem Ringknorpel, dem Schildknorpel und den beiden Gießkannenknorpeln. Er verengt sich nach oben in die Stimmritze, deren Ränder durch die beiden Stimmbänder gebildet werden. Diese sind vorn an dem Schildknorpel, hinten an den beiden Gießkannenknorpeln angewachsen, durch deren Bewegung sie sich mehr oder weniger anspannen lassen, und die Stimmritze verengt oder erweitert wird. Das Stimmorgan.

Auf dem Kehlkopfe liegt der Kehldeckel, der die Luftröhre vor dem Eindringen der Speisen und überhaupt fremder Körper schützt.

Durch das Stimmorgan werden die Töne wie durch eine Zungenpfeife erzeugt. Die Lungen geben den Wind, die Luftröhre enthält die schwingende Luftsäule, die Stimmbänder vertreten das vibrirende Metallplättchen.

Bei Kindern und Frauen ist die Stimme höher, als bei Männern; warum? Das Treffen der Töne beim Singen besteht in welcher Fertigkeit? Wodurch entsteht Heiserkeit?

Vierter Abschnitt.

Das Licht.

A. Vom Lichte im Allgemeinen.

Was ist Licht? § 74. Wir sehen die Gegenstände, heißt: Die Gegenstände machen einen Eindruck auf unsern Augennerv. Da die Wahrnehmung durch die übrigen Sinneswerkzeuge nur mittelst Berührnng der Nerven durch eine Materie hervorgebracht wird, so nimmt man auch beim Sehen eine materielle Berührung des Nerven an.

Newton stellte die Hypothese auf: Es wird von dem leuchtenden Körper eine feine Materie (Lichtstoff) ausgesendet, die unsern Augennerv trifft (Emanationshypothese). Da sich jedoch durch dieselbe nicht alle Lichterscheinungen genügend erklären lassen, so machte Euler folgende Ansicht geltend, die schon der Holländer Huyghens 1690 aufgestellt hatte: Der ganze Weltraum ist von einer feinen Materie (Lichtäther) erfüllt, welcher von den leuchtenden Körpern in ähnliche Schwingungen versetzt wird, wie die Luft von den schallenden. (Vibrations- oder Undulationshypothese.) Diese letztere Ansicht ist die jetzt noch herrschende.

Diesem Lichtäther aber gehen zwei wesentliche Merkmale der Materie, die Wägbarkeit und die Absperrbarkeit, ab, daher nennt man ihn einen hypothetischen oder auch imponderablen Stoff. Solche hypothetische oder imponderable Stoffe sind auch der Wärmestoff, das magnetische und das electrische Fluidum.

Nach der ersten Hypothese ist Licht der ausgesendete Lichtstoff, nach der zweiten die Wellenbewegung des Aethers, also im Allgemeinen: Licht ist das, was uns die Körper sichtbar macht.

Das Licht selbst kann man nicht sehen, sondern nur die Körper, von denen es ausgeht.

§ 75. Das Licht macht uns nicht blos die Körper sichtbar, sondern es bringt auch noch andere bedeutende Wirkungen hervor. Wirkungen des Lichtes.

1) Es ist von großem Einflusse auf das Gedeihen der organischen Wesen.

Die Pflanzen verdanken dem Lichte ihre Farben; denn wenn dieselben im Dunkeln wachsen, etwa im Keller, so haben Blätter und Blüthen eine weißgelbe Farbe. In den Tropengegenden, wo das Sonnenlicht viel intensiver ist, als bei uns, herrscht in der Pflanzen- wie in der Thierwelt eine viel lebhaftere Farbenpracht. Menschen, welche wenig an das Tageslicht kommen, sehen bleich aus.

2) Es bewirkt chemische Zersetzungen.

Es färbt z. B. reine concentrirte Salpetersäure gelb oder roth, scheidet das Gold aus seinen Auflösungen, Silber aus Silbersalzen, z. B. dem Silberchlorid, und schwärzt es; es bewirkt bei einem Gemisch von gleichviel Wasserstoff und Chlorgas eine Explosion, zerstört die meisten Farben.

3) Es macht Eisen magnetisch. Bedeckt man nämlich eine Stahlnadel zur Hälfte mit violettem, blauem oder grünem Glase und setzt sie eine Zeit lang dem Sonnenlichte aus, so wird sie magnetisch.

Hier haben wir das Licht nur als die Ursache des Sichtbarwerdens der Körper zu betrachten.

§ 76. Manche Körper sehen wir unmittelbar, z. B. die Fixsterne, das Feuer; andere nur durch Vermittelung der ersteren, z. B. Steine, Holz; noch andere sind uns unsichtbar, z. B. die meisten Gasarten. Die Körper der ersten Art nennen wir **leuchtende**, die anderen beiden **dunkle**. Leuchtende, dunkele, durchsichtige, undurchsichtige Körper.

Die leuchtenden Körper sind uns dadurch sichtbar, daß sie unmittelbar Licht in unser Auge senden, die dunkeln dadurch, daß sie das von den leuchtenden Körpern empfangene Licht zurückwerfen (reflectiren) und so unser Auge afficiren. Die unsichtbaren sehen wir deshalb nicht, weil sie das Licht nicht zurückwerfen, sondern durch sich hindurchlassen. Daher kann man auch durch sie hindurch andere Körper sehen, wovon sie ihren Namen, durchsichtige Körper, haben.

Daß die dunkeln undurchsichtigen Körper das Licht reflectiren, läßt sich leicht zeigen, indem man irgend einen Körper, z. B. die Hand, oder ein Blatt Papier so in die Nähe des Fensters hält, daß die vordere Fläche vom Tageslichte, oder noch besser unmittelbar von den Sonnenstrahlen getroffen wird und nach der dunklen Seite des Fensterpfeilers gerichtet ist. Man sieht dann sehr deutlich an diesem das von der Hand oder dem Papier reflectirte Licht.

Es giebt aber weder vollkommen durchsichtige, noch vollkommen undurchsichtige Körper.

In sehr dicken Schichten sind selbst die durchsichtigsten Körper sichtbar. In tiefen Seen sieht man nicht bis auf den Grund, wenn das Wasser auch noch so klar ist. Das hellste Glas erscheint farbig, wenn man mehrere Scheiben über

einander legt und ein Blatt weißes Papier dahinter hält; selbst die Luft ist nicht vollkommen durchsichtig, sonst könnte der Himmel nicht blau, ferne Gebirge nicht bläulich erscheinen. In Gebäuden, in welchen die Treppen ihr Licht durch ein Fenster im Dache erhalten, werden diese bei klarem Himmel durch das von der Luft reflectirte Licht erleuchtet.

In sehr dünnen Schichten lassen selbst die undurchsichtigsten Körper Licht durch. Z. B. sehr dünne Blättchen von Metall oder von Holz sind durchscheinend.

Der Theil der Physik, welcher sich mit der unmittelbaren Verbreitung des Lichtes beschäftigt, heißt Optik im engeren Sinne, derjenige, welcher die Zurückwerfung des Lichtes (Reflexion) zum Gegenstande hat, Katoptrik, und derjenige, welcher die beim Durchgange durch durchsichtige Körper eintretenden Erscheinungen behandelt, Dioptrik.

B. Optik im engeren Sinne.

Das Licht verbreitet sich nach allen Seiten und in geraden Linien.

§ 77. 1) Einen leuchtenden Körper kann man von allen Seiten sehen, wenn nicht ein undurchsichtiger Körper zwischen ihm und unserm Auge sich befindet.

Er verbreitet also das Licht nach allen Seiten.

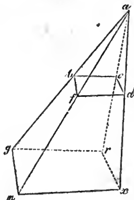
2) Man kann denselben aber nicht mehr sehen, sobald man einen undurchsichtigen Körper in die gerade Linie zwischen ihm und dem Auge hält.

Das Licht verbreitet sich demnach in geraden Linien (in demselben durchsichtigen Mittel). Diese geraden Linien nennt man Lichtstrahlen.

3) Die dem leuchtenden Körper zugewandte Seite des undurchsichtigen Körpers ist desto stärker erleuchtet, je näher dieser dem leuchtenden Körper ist, und zwar:

Stärke der Erleuchtung.

Fig. 92.



Die Stärke der Erleuchtung ist umgekehrt dem Quadrate der Entfernung proportional.

Beweis. (F.92.) a sei ein leuchtender Punkt, bcdf eine von ihm beschienene Fläche, so wird diese von den Lichtstrahlen erleuchtet, welche innerhalb der Pyramide abcdf liegen. Von eben denselben Lichtstrahlen wird die Fläche gmxr getroffen, wenn man bcdf wegnimmt. Ist nun gmxr $n$mal so weit von a entfernt, als bcdf, so ist sie n^2mal so groß, als diese (parallele Pyramidenschnitte verhalten sich wie die Quadrate ihrer Höhen), also muß ihre Erleuchtung n^2mal schwächer sein, als die von bcdf.

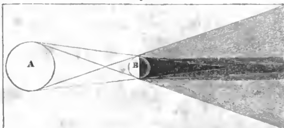
Hält man beim Lesen das Buch einmal einen

Fuß, ein andermal 2 Fuß vom Lichte, so ist dasselbe im zweiten Falle 4mal schwächer erleuchtet, als im ersten, und es bedürfte nun 4 eben solcher Lichter, wenn man dieselbe Erleuchtungsstärke erlangen wollte.

Schatten. Kernschatten. Halbschatten.

4) Hinter dem dunkeln Körper befindet sich ein Raum, welcher von dem leuchtenden Körper gar kein Licht, und ein anderer, welcher nur von einigen Theilen desselben Licht erhält. Ersteren nennt man Kernschatten, letzteren Halbschatten.

Fig. 93.



Es sei (Fig. 93.) A eine leuchtende, B eine dunkle Kugel, so ist der durch die äußeren Tangenten begrenzte Raum der Kernschatten, der durch die inneren begränzte Raum, der Halbschatten. Kern- und Halbschatten gehen allmählich in einander über. Hält man den Finger in die Sonne und fängt den Schatten dicht hinter demselben auf, so scheint der Schatten scharf begrenzt, die Grenzen desselben werden aber immer unbestimmter, in je größerer Entfernung man denselben auffallen läßt.

Mondphasen. Mond-, Sonnenfinsterniß.

Anwendungen. a. die verschiedenen Mondphasen entstehen dadurch, daß von der uns zugewandten Seite des Mondes bald ein kleinerer, bald ein größerer Theil erleuchtet ist. Mond und Erdschein ergänzen sich gegenseitig, so daß, wenn wir z. B. das erste Viertel Mondschein haben, der Mond das letzte Viertel des Erdscheins hat.

Warum sehen wir kurz nach Neumond auch den dunkeln Theil der Scheibe?

b. Eine Mondfinsterniß entsteht, wenn der Mond in den Kernschatten der Erde, und zwar eine partiale, wenn er nur zum Theil, eine totale, wenn er ganz in denselben tritt.

c. Eine Sonnenfinsterniß erhält derjenige Theil der Erde, welcher in den Schatten des Mondes, und zwar eine partiale, welcher in den Halbschatten, eine totale, welcher in den Kernschatten des Mondes gelangt. — Centrale Finsternisse, ringförmige Sonnenfinsterniß. —

Eine Mondfinsterniß kann nur bei Vollmond, eine Sonnenfinsterniß nur bei Neumond entstehen.

Bilder im dunkeln Zimmer von Gegenständen außerhalb desselben.

d. Befindet sich vor einer ganz kleinen Oeffnung in dem Laden eines verdunkelten Zimmers ein leuchtender Gegenstand, so sendet jeder Punkt desselben eine Strahlenpyramide durch die Oeffnung. Es muß demnach jeder Punkt des Gegenstandes auf der hinter der Oeffnung befindlichen Wand einen hellen Fleck von der Form der Oeffnung erzeugen, der desto kleiner ist, je näher die Wand hinter, und je weiter der Gegenstand vor der Oeffnung sich befindet. Der vom obersten Punkte des Gegenstandes erzeugte helle Fleck liegt aber am tiefsten, der vom unter-

sten erzeugte am höchsten; ein Punkt, welcher links liegt, erzeugt einen hellen Fleck rechts u. s. w. Wenn nun die hellen Flecke so klein sind, daß sie fast als Punkte erscheinen, so erzeugt jeder Punkt des Gegenstandes wieder einen hellen Punkt, nur in umgekehrter Ordnung; es muß also ein umgekehrtes Bild des Gegenstandes an der Wand entstehen.

Geschwindigkeit des Lichtes. § 78. Schon die Emanationshypothese hatte auf die Vermuthung geführt, daß das Licht sich nicht momentan verbreiten könne, sondern daß es, wie der Schall, zur Durchlaufung eines Raumes einer gewissen Zeit bedürfe. Dennoch führten alle dahin gerichteten Versuche auf das entgegengesetzte Resultat, bis der dänische Astronom Olaf Römer im Jahre 1675 — 76 bei den Beobachtungen der Jupiterstrabanten, die er auf der Sternwarte zu Paris mit Cassini anstellte, obige Vermuthung bestätigt fand, und die Geschwindigkeit des Lichtes bestimmte.

Die vier Jupiterstrabanten und der Jupiter scheinen uns nämlich stets fast in gerader Linie zu stehen. (Fig. 94.) Daraus folgt, daß ihre Bahnen mit unserer Erdbahn fast in einerlei Ebene liegen, und daraus wieder, daß die Trabanten bei jedem Umlaufe durch den Schatten des Jupiter gehen und während dieser Zeit für uns unsichtbar sind.

Fig. 94.



In Fig. 95 sei T der Jupiter, der um ihn gezogene Kreis die Bahn des ihm zunächst stehenden Trabanten, S die Sonne und der um S gezogene Kreis o k die Erdbahn. Beobachtet man nun um die Zeit der

Fig. 95.



Opposition, d. i. wenn Jupiter und Sonne auf entgegengesetzten Seiten von unserer Erde stehen, also etwa, wenn die Erde sich im Punkte a befindet, zwei aufeinander folgende Austritte des dem Jupiter zunächst stehenden Trabanten, so findet man die dazwischen liegende Zeit gleich 42 Stunden 28 Minuten 35 Secunden, und das ist dessen wahre Umlaufszeit. Denn die Erde ist während dieser Zeit etwa von a bis b gegangen, hat sich also weder dem Jupiter merklich genähert noch von ihm entfernt. Berechnet man nun, zu welcher Zeit die folgenden Austritte stattfinden müssen, voraus und beobachtet dann etwa den 100sten Austritt, bei welchem dann die Erde etwa in c steht, so findet man,

daß derselbe ungefähr 15 Minuten später erfolgt, als er nach der Rechnung erfolgen sollte.

Diese Verspätung läßt sich nun daraus erklären, daß das Licht zur Durchlaufung der Strecke, um welche die Erde in c weiter vom Jupiter absteht, als in b, 15 Minuten Zeit gebraucht. Ist diese Vermuthung richtig, so kann man auch die Geschwindigkeit des Lichtes bestimmen; denn die Strecke, um welche die Erde in c weiter vom Jupiter absteht, als in b, läßt sich berechnen; und ist diese nun n Meilen, so durchläuft das Licht in einer Minute $\frac{n}{15}$ und in einer Secunde $\frac{n}{15 \,.\, 60}$ Meilen. Auf diese Weise hat man gefunden, daß das Licht in einer Secunde 42000 Meilen zurücklegt.

Die genannte Vermuthung wird aber dadurch zur Gewißheit, erstens, daß derjenige vorherberechnete Austritt, welcher stattfindet, wenn die Erde wieder dieselbe Entfernung vom Jupiter hat, als der zuerst beobachtete, auch genau in dem berechneten Zeitpunkte stattfindet. Ferner durch folgende Erscheinung: Beobachtet man kurz nach der Conjunction, d. i. wenn Jupiter und Sonne auf derselben Seite der Erde stehen, einen Eintritt des Trabanten in den Schatten des Jupiter (denn von der Conjunction bis zur nächsten Opposition kann man nur die Eintritte des Trabanten in den Schatten des Jupiter, von da bis zur nächsten Opposition nur die Austritte sehen, warum?) und berechnet nun im Voraus die Zeitpunkte der folgenden Eintritte, so erfolgt derjenige Eintritt, bei welchem die Erde n . 42000 Meilen dem Jupiter näher steht, als beim ersten, um n Secunden früher, als die Rechnung ergiebt.

Um von dem nächsten Fixsterne zu uns zu gelangen, gebraucht das Licht über 3 Jahre.

Da die Fixsterne verschiedene Entfernung von uns haben, so sehen wir bei Betrachtung des gestirnten Himmels Licht, welches zu ganz verschiedenen Zeiten ausgegangen ist, und könnten wir sehen, was auf den Fixsternen vor sich geht, so würden wir zu gleicher Zeit Begebenheiten sehen, welche sich zu ganz verschiedenen Zeiten zugetragen hätten.

Warum mußten alle Versuche, welche man mit irdischen Gegenständen über die Geschwindigkeit des Lichtes anstellte, fehlschlagen?

C. Katoptrik.

§ 79. Die allgemeinsten Gesetze der Zurückwerfung ergeben sich, wenn man das durch eine Oeffnung eines verdunkelten Zimmers einfallende Licht mit verschiedenen Flächen auffängt und diese gegen einen weißen Schirm richtet. Um Versuche mit farbigem Lichte anzustellen, verschließt man die Oeffnung mit farbigem Glase. Allgemeine Gesetze der Reflexion.

1) **Alle undurchsichtigen Körper, außer den unpolirten schwarzen, werfen das Licht zurück, und zwar desto stärker, je mehr sich ihre**

Farbe dem Weiß nähert; am stärksten werfen die polirten Körper das Licht zurück, mögen sie eine Farbe haben, welche sie wollen.

Schwarze Körper sind also solche, welche kein Licht in unser Auge werfen, welche wir also eigentlich nicht sehen. Warum sehen wir dennoch die schwarzen Körper? Tiefe Brunnen, Fensteröffnungen erscheinen schwarz, während man doch von ersteren den Grund, durch letztere die gegenüberliegende Wände sehen sollte. Warum? Jeder lichtlose Raum erscheint schwarz.

2) Die weißen Körper werfen das Licht in derselben Farbe zurück, in welcher sie es empfangen, die bunten in veränderter Farbe.

Denn eine weiße Fläche, von rothem Lichte beleuchtet, erscheint roth, von grünem Lichte beleuchtet, grün u. s. w. Fällt aber auf eine rothe Fläche blaues Licht, so erscheint sie violett, eine blaue, auf welche gelbes Licht fällt, erscheint grün u. dgl. Das weiße Licht wird von jeder Fläche in der ihr eigenen Farbe reflectirt. Diese Erscheinungen finden später ihre Erklärungen.

Die polirten Körper zeigen außerdem, daß sie das Licht sehr stark zurückwerfen, noch die eigenthümliche Erscheinung, daß sie von den sie erleuchtenden Körpern Bilder erzeugen, und heißen in Beziehung hierauf Spiegel. Sie selbst sind desto weniger sichtbar, je vollkommener sie spiegeln. Beide Erscheinungen beruhen auf Reflexionsgesetzen, die in den folgenden Paragraphen näher erörtert werden.

Auch die Oberflächen aller durchsichtigen Körper spiegeln, und zwar sowohl die nach dem Innern des Körpers, als die nach außen gerichtete Seite derselben. (An einem Glaswürfel sehr in die Augen fallend.)

Der Planspiegel.

Reflexionsgesetze für den Planspiegel.

§ 80. Das Licht wird von dem Planspiegel so reflectirt, daß die durch den einfallenden und den reflectirten Strahl gelegte Ebene senkrecht auf der Spiegelfläche steht, und daß der Reflexionswinkel gleich dem Einfallswinkel ist.

Erklärung. Einfalls- und Reflexionswinkel sind nämlich die Winkel, welche der einfallende und der reflectirte Strahl mit dem auf der Spiegelfläche in dem Einfallspunkte errichteten Lothe (Einfallsloth) bilden.

Der erste Theil des Gesetzes läßt sich auch so aussprechen: Der einfallende und der reflectirte Strahl liegen mit dem Einfallslothe in einerlei Ebene.

Beweis. In Fig. 96 (s. umstehende Fig. 96.) sei l ein Fernrohr, welches sich um die Achse eines vertical stehenden getheilten Kreises bewegen läßt. Visirt man mit diesem nach einem Sterne, etwa in der Richtung oe und dann nach dem Bilde desselben, welches von einem horizontalen Spiegel (gewöhnlich eine Quecksilberoberfläche) reflectirt wird, also in der Richtung o′i, so findet man, daß die Winkel, welche die beiden Linien oe und o′i mit der Horizon-

talen fc bilden, und also auch die, welche sie mit der Verticalen bilden, gleich sind.

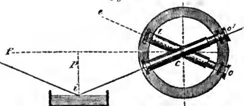


Fig. 96.

Da nun die beiden Strahlen e'i und eo, weil sie von demselben unendlich weit entfernten Sterne herkommen, parallel sind, so bilden auch e'i und o'i mit der Verticalen p gleiche Winkel. Beide liegen in der Umdrehungsebene des Fernrohrs, also in einer Ebene, welche senkrecht auf der Spiegel-Ebene steht.

Hieraus lassen sich nun nicht bloß alle Reflexions-Erscheinungen der Planspiegel, sondern auch der sphärischen Spiegel erklären.

§ 81. Von einem Objecte, welches sich vor dem Planspiegel befindet, erscheint ein Bild hinter dem Spiegel, und zwar erscheint jeder Punkt des Objektes in der Verlängerung seines Hauptstrahles so weit hinter dem Spiegel, als der Punkt sich vor dem Spiegel befindet. Ortsbestimmung der Bilder im Planspiegel.

Erklärung. Hauptstrahl eines leuchtenden Punktes wird nämlich derjenige Strahl genannt, welcher senkrecht von ihm auf die Spiegelfläche fällt.

Erläuterung und Beweis. Der Eindruck, welchen ein leuchtender Punkt auf unser Auge macht, besteht darin, daß dasselbe Lichtstrahlen empfängt, welche so divergiren, daß sie einen gemeinschaftlichen Vereinigungspunkt haben. So oft wir also Lichtstrahlen in unser Auge bekommen, welche so divergiren, daß sie einen gemeinschaftlichen Durchschnittspunkt haben, müssen wie einen leuchtenden Punkt sehen. Da wir nun von jedem leuchtenden Punkte vor dem Spiegel ein Bild hinter dem Spiegel sehen, so müssen die von dem leuchtenden Punkte ausgehenden Strahlen so reflectirt werden, daß sie hinter dem Spiegel einen gemeinschaftlichen Durchschnittspunkt haben. Das läßt sich aus dem im vorigen Paragraphen entwickelten Gesetze beweisen; auch läßt sich der Ort des Bildes bestimmen.

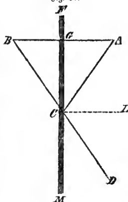


Fig. 97.

(Fig. 97.) FM sei ein Planspiegel, A ein leuchtender Punkt vor demselben, AG der Hauptstrahl, AC ein beliebiger anderer Strahl, CL dessen Einfallsloth; AG wird in der Richtung GA, AC werde in der Richtung CD zurückgeworfen. Nun sind AG und CL parallel, liegen also in einerlei Ebene; in derselben Ebene liegt auch AC und folglich auch CD; folglich liegen CD und AG in einerlei

Ebene, müssen sich also, da sie nicht parallel sind, schneiden. Ferner ist $\triangle$ AGC $\cong$ $\triangle$ BGC, folglich GB = GA.

Da nun ein beliebiger Strahl den Hauptstrahl schneidet, und zwar in dem bestimmten Punkte B, so muß jeder Strahl denselben in B schneiden, was zu beweisen war.

Vollkommene Spiegelflächen würden unsichtbar sein. Hiernach läßt sich auch erklären, warum wir eine gute Spiegelfläche selbst nicht sehen können. Sollten wir die Spiegelfläche sehen können, so müßten von jedem Punkte derselben Lichtstrahlen, divergent ausgehend, in unser Auge kommen, d. h. die von der Spiegelfläche in unser Auge kommenden Strahlen müßten ihren Vereinigungspunkt in der Spiegelfläche haben. Nun wird aber alles Licht, welches die Spiegelfläche empfängt, so zurückgeworfen, daß sich die von jedem Punkte der beleuchtenden Körper ausgehenden Strahlen wieder in einem Punkte hinter der Spiegelfläche schneiden, also sehen wir nur hinter der Spiegelfläche leuchtende Punkte, nämlich Bilder der beleuchtenden Punkte und nicht die Spiegelfläche selbst.

Eine nicht polirte Ebene wirft die von einem Punkte ausgehenden Strahlen unregelmäßig zurück, so daß sie rückwärts verlängert, sich nicht in einem Punkte schneiden; jeder Punkt der Fläche erhält aber von unendlich vielen leuchtenden Punkten Licht, welches er zurückwirft, folglich gehen von jedem Punkte der Fläche unendlich viele divergirende Strahlen aus, also sehen wir jeden Punkt der Fläche.

Solches unregelmäßig zurückgeworfene Licht heißt zerstreutes Licht.

Parallele Spiegel. Parallele Planspiegel erzeugen von einem zwischen ihnen stehenden Objecte eine sehr große Menge (eigentlich unendlich viele) Bilder, von denen die entfernteren immer undeutlicher werden.

Das Bild in dem einen Spiegel ist nämlich immer wieder Object für den andern. Warum werden die entfernteren Bilder immer undeutlicher?

Glasspiegel sind eigentlich Quecksilberspiegel; sie erzeugen immer mehrere Bilder. Warum? Besonders viel Bilder sieht man von einer Lichtflamme. Warum stehen diese Bilder desto weiter von einander, je weiter das Object vor dem Spiegel sich befindet? Weshalb alle unsere Stubenspiegel von sehr entfernten Gegenständen krumme verzogene Bilder geben, wird später klar werden. Warum sind die Metallspiegel den Glasspiegeln vorzuziehen?

Der sphärische Spiegel.

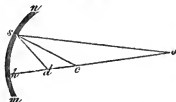
Was sind sphärische Spiegel? **Erklärung.** Ein sphärischer Spiegel ist ein spiegelnder Kugelflächen-Abschnitt. Er heißt concav, wenn die innere, convex, wenn die äußere Seite spiegelt. Die Linie, welche den Mittelpunkt des Spiegels mit dem Kugelmittelpunkte verbindet, heißt Achse des Spiegels.

Auch für die sphärischen (überhaupt für alle krummen) Spiegel gilt das in § 80 entwickelte Gesetz; denn man kann sich die krumme Fläche als aus unendlich vielen kleinen Ebenen zusammengesetzt denken. Für jeden Punkt des sphärischen Spiegels ist der Kugelradius das Einfallsloth und also für jeden leuchtenden Punkt der durch den Kugelmittelpunkt gehende Strahl der Hauptstrahl.

§ 82. **Der sphärische Hohlspiegel.** 1) Der sphärische Hohlspiegel wirft wie der Planspiegel die von einem leuchtenden Punkte ausgehenden Strahlen so zurück, daß sie alle den Hauptstrahl schneiden. Der sphär. Hohlspiegel erzeugt auch Bilder.

Beweis. (Fig. 98.) mn sei der Spiegel, c der Kugelmittelpunkt, o ein leuchtender Punkt, oh sein Hauptstrahl, os ein beliebiger anderer Strahl, sd der reflectirte Strahl. oh und os liegen in einerlei Ebene. In derselben Ebene liegt auch sc, und da nun sd mit sc und so in gleicher Ebene liegt, so liegt auch sd mit oh in einerlei Ebene u. s. w.

Fig. 98.



Aber sie schneiden ihn nicht alle in ein und demselben Punkte. Einen solchen gemeinschaftlichen Einschnittspunkt haben nur immer diejenigen Strahlen, welche gleiche Winkel mit dem Hauptstrahle bilden, also in einem Kreise auf den Spiegel fallen, dessen Mittelpunkt der Einfallspunkt des Hauptstrahls ist.

Läßt sich leicht beweisen.

Die Entfernung dieses gemeinschaftlichen Einschnittspunktes hängt, wie leicht ersichtlich, ab: Erstens von der Entfernung des leuchtenden Punktes vom Spiegel; zweitens der Größe des Kugelradius, und drittens der Entfernung des Einfallspunktes der Strahlen von dem des Hauptstrahls. Formel für den Ort der Bilder.

Ist diese dritte Größe so klein, daß man die Länge der Strahlen gleich der des Hauptstrahls setzen kann, und das ist der Fall, wenn sie 4 — 5° nicht überschreitet, so gilt für die Entfernung des Einschnittspunktes der reflectirten Strahlen in den Hauptstrahl folgende Gleichung:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p},$$

wo a die Entfernung des leuchtenden Punktes, α die Entfernung des Einschnittspunktes vom Spiegel und p den halben Kugelradius bedeutet.

Entwickelung. (s. Fig. 98.) mn sei der Spiegel, o ein leuchtender Punkt, oh sein Hauptstrahl, os ein beliebiger anderer Strahl, cs das Einfallsloth für diesen, sd der reflectirte Strahl. Da ∠ osc = ∠ csd, so ist

$$\frac{os}{sd} = \frac{oc}{cd}$$

Setzt man nun oh = a, ch = r und dh = α, und liegt s so nahe an h, daß man os = oh = a und ds = dh = α setzen kann, so geht obige Gleichung in folgende über:

$$\frac{a}{\alpha} = \frac{a - r}{r - \alpha} \text{ d. i. } ar - a\alpha = a\alpha - \alpha r \text{ d. i. } ar + \alpha r = 2a\alpha,$$

d. i. (durch $\alpha a r$ dividirt) $\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{a} = \frac{2}{r}$ (und $r = 2p$ gesetzt):

$$\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{a} = \frac{1}{p} \text{ oder } \alpha = \frac{ap}{a-p}.$$

Haben nun a und p einen bestimmten Werth, so hat auch α einen bestimmten Werth. Daraus folgt, daß alle Strahlen eines leuchtenden Punktes, welche nicht weiter als 4 — 5° vom Hauptstrahle auf den Spiegel fallen, einen gemeinschaftlichen Einschnittspunkt in den Hauptstrahl haben. Sie erzeugen demnach in diesem Punkte ein Bild des leuchtenden Punktes.

Aus dieser Formel lassen sich nun folgende Gesetze entwickeln:

Ortsbestimmung der Bilder durch die Formel.

a. Von einem leuchtenden Punkte, der sich in unendlicher Entfernung vor dem Spiegel befindet, entsteht ein Bild in der Hälfte des Radius vor dem Spiegel.

Dividire Zähler und Nenner durch a, wodurch die Gleichung die Form $\alpha = \frac{p}{1-\frac{p}{a}}$ annimmt und setze dann $a = \infty$, so ist $\alpha = p$.

Erklärung. Der Punkt der Achse, dessen Abstand vom Spiegel gleich dem halben Radius ist, heißt Brennpunkt, und der halbe Radius die Brennweite des Spiegels.

b. Rückt der leuchtende Punkt aus unendlicher Entfernung bis in den Kugelmittelpunkt, so geht das Bild vom Brennpunkte bis in den Kugelmittelpunkt.

Denn fällt der Werth der Größe a von ∞ bis $2p$, so wächst die Größe $\frac{p}{1-\frac{p}{a}}$ von p bis zu $2p$.

c. Rückt der leuchtende Punkt vom Kugelmittelpunkte bis in den Brennpunkt, so geht das Bild vom Kugelmittelpunkte bis in unendliche Entfernung.

Denn verkleinert sich a von $2p$ bis zu p, so wächst der Bruch $\frac{p}{a}$ von $\frac{1}{2}$ bis 1, also wächst die Größe $\frac{p}{1-\frac{p}{a}}$ von $2p$ bis ∞.

d. Bewegt sich der leuchtende Punkt vom Brennpunkte bis an den Spiegel, so ist das Bild hinter dem Spiegel und kommt aus unendlicher Entfernung bis an den Spiegel.

Denn sobald $a < p$ wird, wird $\frac{p}{1-\frac{p}{a}}$ negativ, und zwar schreitet der Ausdruck von $-\infty$ bis o fort, wenn a von p bis o fällt.

Ortsbestimmung der Bilder durch Construction.

Diese Gesetze lassen sich auch durch geometrische Construction darthun, z. B.: (Fig. 100.) Der leuchtende Punkt liege in unendlicher Enfernung, bc sei die Richtung seines Hauptstrahles, fg die eines beliebigen nahe bei c einfallenden Strahles, gd der reflectirte Strahl, so ist $\angle \alpha = \beta = \gamma$; folglich $dm = dg$, und da g nahe an c liegt, so ist $dg = cd$, also $dm = dc$.

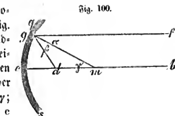


Fig. 100.

Rückt der leuchtende Punkt in endliche Entfernung, etwa (Fig. 101.) bis f, so wird $< \alpha$ kleiner, also auch β kleiner, folglich rückt d auf m los.

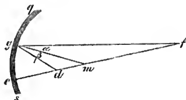


Fig. 101.

In gleicher Weise läßt sich der Ort des Bildes für die übrigen Entfernungen des leuchtenden Punktes bestimmen.

Durch jene Formel läßt sich auch von einem ganzen Objecte der Ort, die Größe und die Stellung des Bildes finden, indem man durch sie den Ort der äußersten Punkte des Bildes bestimmt, zwischen denen dann die übrigen liegen müssen. Man erhält dadurch folgende Gesetze:

Größe und Stellung der vom Hohlspiegel erzeugten Bilder.

a. Von einem Objecte in unendlicher Entfernung befindet sich das Bild im Brennpunkte und ist unendlich klein.

Für einen endlich großen Gegenstand, der sich in unendlicher Entfernung vor dem Spiegel befindet, fallen die Hauptstrahlen der äußersten Punkte in eine gerade Linie zusammen, denn der Winkel, den sie am Kugelmittelpunkte bilden, ist gleich Null, folglich müssen auch ihre Bilder, da sie beide in der Entfernung von $\frac{1}{2}$ r vom Spiegel entfernt sind, in einem Punkte zusammenfallen.

b. Rückt das Object aus unendlicher Entfernung bis in den Brennpunkt, so bewegt sich das Bild aus dem Brennpunkte bis in unendliche Entfernung, ist umgekehrt, und wächst bis zu unendlicher Größe. So lange die Entfernung des Objects größer als r ist, so lange ist das Bild kleiner; liegt die Entfernung des Objects zwischen r und $\frac{1}{2}$ r, ist das Bild größer, als das Object. Im Kugelmittelpunkte treffen Object und Bild zusammen und sind von gleicher Größe.

db sei (Fig. 102.) ein Object vor dem Spiegel mn, df der Hauptstrahl des Punktes d, bg der des Punktes b, so liegt das Bild von d etwa in d′, das von b in b′. Das Bild ist demnach umgekehrt.

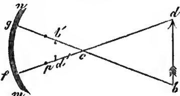


Fig. 102.

Es ist ferner $\frac{db}{d'b'} = \frac{dc}{d'c}$. Es läßt sich nun beweisen, daß, so lange das Object weiter als 2 p von dem Spiegel sich befindet, in jedem Falle $d'c < dc$ ist.

Denn $d'c = 2p - \alpha$; $dc = a - 2p$, folglich da $\alpha = \frac{ap}{a-p}$ so ist

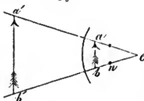
$$d'c = 2p - \frac{ap}{a-p} = \frac{2pa - 2p^2 - ap}{a-p} = \frac{ap - 2p^2}{a-p} = \frac{p(a-2p)}{a-p}$$

Da nun für unsern Fall $a > 2p$, so ist $\frac{p}{a-p} < 1$, also $d'c < dc$ und daher $b'd' < bd$.

Eben so läßt sich beweisen, daß, wenn das Object zwischen c und p liegt, das Bild größer ist als das Object.

c. Während das Object von dem Brennpunkte bis an den Spiegel rückt, befindet sich das Bild hinter dem Spiegel, ist aufrecht und nimmt an Größe ab, von unendlicher Größe bis zur Größe des Objectes.

Fig. 103.



(Fig. 102.) ab sei das Object, so liegt das Bild von a in dem Hauptstrahle, etwa in a', das Bild von b in b' u. s. w.

Die Richtigkeit der hier theoretisch entwickelten Gesetze läßt sich durch den Versuch im dunkeln Zimmer nachweisen, indem man als Object eine Lichtflamme nimmt und die Bilder auf einem weißen Schirme auffängt.

Will man dabei deutliche Bilder erhalten, so muß der Spiegel so weit bedeckt werden, daß nur ein Kugelabschnitt von 8—10 Grad sphärischen Durchmessers offen bleibt. Warum? Die Bilder werden desto deutlicher, je größer der Kugelradius ist. Warum? Wie groß ist das Bild eines h' hohen Gegenstandes, welcher sich a' weit vor dem Spiegel befindet, wenn dessen Radius = r' ist. Bilde Beispiele in bestimmten Zahlen.

Während beim sphärischen Hohlspiegel von den Strahlen, welche vom Brennpunkte ausgehen, nur diejenigen parallel der Achse reflectirt werden, welche nahe an dieser einfallen, und auch diese nur beinahe parallel, wirft der parabolische Spiegel alle vom Brennpunkte auf den Spiegel fallende Strahlen genau parallel der Achse zurück.

Die Hohlspiegel werden zu Blickfeuern auf Leuchtthürmen angewendet. Andere Anwendungen werden wir später kennen lernen.

Der sphär. Convexspiegel.

§ 83. **Der sphärische Convexspiegel.** Die Untersuchung, wo der Convexspiegel das Bild eines leuchtenden Punktes erzeugt, welche Größe und Stellung das von einem ganzen Objecte erzeugte Bild hat, ist ganz in derselben Weise zu führen, wie beim Concavspiegel.

Man erhält dabei mit Hülfe desselben geometrischen Satzes (nur

daß hier der Außenwinkel des Dreiecks halbirt wird) für die Entfernung des Bildes vom Spiegel

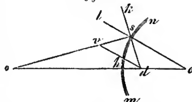
$$\frac{1}{a} - \frac{1}{\alpha} = -\frac{1}{p},$$

Formel für den Convexspiegel.

wo α angiebt, wie weit das Bild hinter dem Spiegel liegt.

mn (Fig. 104.) sei ein Convexspiegel, c sein Mittelpunkt, o ein leuchtender Punkt, oc sein Hauptstrahl, os ein beliebiger anderer Strahl, sk der reflectirte Strahl, cl das Einfallsloth (die Bezeichnung durch Buchstaben entspricht der beim Concavspiegel Fig. 98.).

Fig. 104.



Mache sv = sd und ziehe die Linie dv, so ist dv ‡ cs; denn ∠ ksv = 2sdv und da ∠ ksl = lsv, so ist ksl = sdv. Folglich $\frac{oc}{dc} = \frac{os}{vs} = \frac{os}{ds}$.

Setzt man nun oh = a, ch = r, dh = α, und liegt s so nahe an h, daß man os = oh = a, ds = dh = α setzen kann, so geht obige Gleichung in folgende über:

$\frac{a+r}{r-\alpha} = \frac{a}{\alpha}$ d. i. $a\alpha + \alpha r = ar - a\alpha$, oder für r, 2p gesetzt, die Gleichung vereinfacht und durch $a\alpha p$ dividirt $\frac{1}{a} - \frac{1}{\alpha} = -\frac{1}{p}$.

Anmerkung. Soll α wie beim Hohlspiegel, angeben, wie weit das Bild vor dem Spiegel liegt, so muß für α, $-\alpha$ gesetzt werden, wodurch die Formel die Form $\frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha} = -\frac{1}{p}$ annimmt.

Vermittelst dieser Formel läßt sich ganz in derselben Weise, wie beim Hohlspiegel, das für den Convexspiegel geltende Gesetz entwickeln:

Wenn das Object aus unendlicher Entfernung bis an den Spiegel rückt, so bewegt sich das Bild von dem negativen Brennpunkte (d. i. der Punkt, der um $\frac{1}{2}$r hinter dem Spiegel liegt) bis an den Spiegel, bleibt stets aufrecht und wächst von unendlich kleiner Größe bis zur Größe des Objects.

D. Dioptrik.

§ 84. Nimmt man ein Gefäß, ABCF (s. umst. Fig. 105.) (etwa eine Tasse), auf dessen Boden sich ein hervorstehender Punkt a (etwa ein eingebranntes Körnchen oder ein mit Oelfarbe gemalter Punkt) befindet, und stellt sich so, daß der Punkt a dem Auge o so eben unter dem Rande des Gefäßes verschwindet, und man gießt Wasser hinein,

Erscheinung der Lichtbrechung.

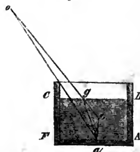


Fig. 105.

so wird das Pünktchen wieder sichtbar und erscheint etwa in b. Die von a ausgehenden Lichtstrahlen müssen also durch das Wasser eine Ablenkung erlitten haben. Da man nun den Punkt in b sieht, also das Auge die von a ausgehenden Strahlen in der Richtung b o erhält, so ist man geneigt zu glauben, die Strahlen kommen wirklich vom Punkte b her. Das ist aber nicht möglich, sonst müßten dieselben den Weg a b o durchlaufen, und das streitet wieder das Gesetz § 77, 2. Es kann also die Ablenkung nur an der Trennungsfläche des Wassers und der Luft, also in g stattfinden. Die Lichtstrahlen müssen demnach den Weg a g o durchlaufen.

Eine solche Ablenkung der Lichtstrahlen von der geraden Richtung findet so oft statt, als das Licht aus einem dichteren in ein dünneres, oder aus einem dünneren in ein dichteres Mittel übergeht und heißt Refraction, Brechung.

Legt man z. B. einen Glaswürfel oder eine dicke Glasscheibe auf ein beschriebenes Blatt, so erscheint die Schrift, durch die obere Fläche des Würfels oder der Scheibe gesehen, höher. Gewässer, deren Grund man sehen kann, erscheinen weniger tief, als sie es wirklich sind. Fische scheinen der Oberfläche näher zu schwimmen. Ein Stab in Wasser gehalten, scheint gebrochen.

Es fragt sich nun, in welcher Weise hier die Lichtstrahlen von der geraden Richtung abgelenkt werden.

Folgerungen aus der bei Wasser u. Luft beobachteten Brechung.



Fig. 106.

Im Allgemeinen kann man schon aus dem angeführten Versuche erkennen, daß der Lichtstrahl (ag) (Fig. 106.) im Wasser einen kleineren Winkel mit dem Einfallslothe l m macht, als der gebrochene Strahl g o in der Luft. Ferner, wenn man das Auge in verticaler Richtung über den Punkt a hält und gießt Wasser in das Gefäß, so scheint der Punkt auch gehoben zu werden, aber die Richtung, in welcher man denselben sieht, wird nicht geändert; daraus erkennt man, daß der Strahl, welcher die Wasserfläche senkrecht trifft, gar nicht gebrochen wird. Je schräger man gegen die Wasserfläche sieht, desto höher erscheint das Bild b. Daraus geht hervor, daß die von a ausgehenden Strahlen nicht so gebrochen werden, daß sie sich, rückwärts verlängert, alle in einem Punkte treffen u. s. w.

Erklärung. Derjenige Strahl, welcher die Trennungsfläche zweier Mittel senkrecht trifft und also ungebrochen durchgeht, heißt Hauptstrahl des Punktes.

Wie kann man die Brechungsgesetze finden?

Genauer kann man die Gesetze der Brechung durch folgende Vorrichtung erkennen: (s. umst. Fig. 107.) g c h ist ein halbkugelförmiges

gläsernes Gefäß, welches bis zu seinem Mittelpunkte m mit Wasser gefüllt und um welches ein vertical stehender getheilter Kreis gelegt ist. Läßt man nun durch eine kleine Oeffnung eines verdunkelten Zimmers ein dünnes Bündel Sonnenstrahlen so einfallen, daß es in a bei dem getheilten Kreise vorbeigeht und im Mittelpunkte m das Wasser trifft, so kann man sehen, wo der gebrochene Strahl das Gefäß verläßt (etwa in b), und nun die Größe der Winkel fma und bmc an dem getheilten Kreise ablesen.

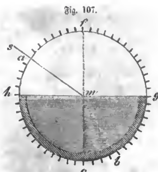


Fig. 107.

Durch dergleichen und andere Versuche hat man folgende Gesetze für die Refraction gefunden:

Gesetze der Lichtbrechung.

1) Der einfallende und der gebrochene Strahl liegen mit dem Einfallslothe in einerlei Ebene, also in einer Ebene, welche senkrecht auf der Trennungsfläche der beiden Mittel steht.

2) Im Allgemeinen bildet der Lichtstrahl in dem dünnern Mittel einen größern Winkel mit dem Einfallslothe, als in dem dichtern, mag er aus dem dünnern Mittel in das dichtere oder aus dem dichteren in das dünnere übergehen.

Einige Substanzen machen jedoch hiervon eine Ausnahme.

Erklärung. Die beiden Winkel, welche der einfallende und der gebrochene Strahl mit dem Einfallslothe bilden, heißen **Einfalls-** und **Brechungswinkel**.

3) Die Sinus der Winkel, welche der Lichtstrahl im dünnern und im dichtern Mittel mit dem Einfallslothe bildet, haben bei denselben zwei Mitteln ein constantes Verhältniß.

Dieses Gesetz wurde vom Holländer Snellius um das Jahr 1625 entdeckt.

Brechungs-Exponent.

Der Exponent dieses Verhältnisses, d. h. die Zahl, welche angiebt, wie viel mal der Sinus des größern Winkels größer ist, als der des kleineren, heißt **Brechungsexponent**. Dieser ist z. B. für Luft und Glas $= \frac{3}{2}$, für Luft und Wasser $= \frac{4}{3}$.

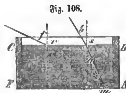


Fig. 108.

Der Brechungsexponent bleibt derselbe, mag das Licht aus dem dünnern in das dichtere Mittel übergehen, oder aus dem dichtern in das dünnere.

ABCF (Fig. 108.) sei ein Gefäß mit Was-

ser, m ein leuchtender Punkt, ms und mv zwei von ihm ausgehende Lichtstrahlen, so ist: $\frac{\sin b}{\sin a} = \frac{\sin f}{\sin c} = \frac{3}{2}$.

Hieraus folgt:

a. Strahlen, welche die Trennungsfläche der beiden Mittel senkrecht treffen, gehen ungebrochen durch.

Uebergang der Brechung in Reflexion.

b. Bei dem Uebergange des Lichtes aus einem dichtern Mittel in ein dünneres können diejenigen Strahlen nicht in das dünnere Mittel übergehen, für welche der Sinus des Einfallswinkels $= \frac{1}{n}$ oder größer als $\frac{1}{n}$ ist, wo n den Brechungsexponenten der beiden Mittel bezeichnet. Denn in diesem Falle ist der Brechungswinkel ein Rechter.

Diese Strahlen erleiden an der Trennungsfläche eine vollständige Reflexion.

Grenzwinkel.

Erklärung. Der Winkel, dessen Sinus $= \frac{1}{n}$ ist, heißt Grenzwinkel.

Z. B. für Luft und Wasser ist der Grenzwinkel derjenige, dessen sinus $= \frac{3}{4}$ ist, d. i. $48^\circ 35'$.

Brechungserscheinungen.

Auf der Brechung des Lichtes beruhen folgende Erscheinungen: Die Sterne gehen früher auf, als sie wirklich über den Horizont kommen, und sind noch einige Zeit sichtbar, wenn sie schon unter dem Horizonte sind. Das Flimmern der Fixsterne. — Die Planeten flimmern nicht, weil wir sie als Scheiben sehen, während die Fixsterne als Punkte erscheinen. Sieht man über ein von der Sonne stark erwärmtes Dach, oder einen Kalkofen, oder eine Lichtflamme hinweg, so scheinen die dahinterliegenden Gegenstände sich zu bewegen. Die Luftspiegelung, wobei ein umgekehrtes Bild über den Gegenständen erscheint, wenn die obern Luftschichten dünner, als die untern, unter den Gegenständen, wenn die untern dünner sind als die obern. — Die Fata Morgana an der Meerenge von Sicilien. — In der Wüste glaubt man oft eine Wasserfläche zu sehen, indem die Brechung der vom hellen Himmel kommenden Strahlen in der Nähe des heißen Sandbodens in Reflexion übergeht.

Brechung des Lichtes durch Gläser.

Brechung durch Gläser mit parallelen Wänden.

§ 85. 1) Durch ein Glas mit parallelen Wänden gesehen, erscheinen die Gegenstände dem Glase näher, aber sonst unverändert. Die Verrückung ist desto geringer, je dünner das Glas ist. Die gebrochenen Strahlen sind den einfallenden parallel.

Beweis. (Fig. 109.) abcf ist der Weg zweier Strahlen, l die Einfallslothe, a′ das Bild des Punktes a.

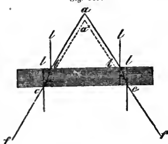


Fig. 109.

2) Die durch die Brechung bewirkten Erscheinungen am dreiseitigen Prisma sind folgende:

Hält man das Prisma horizontal vor das Auge, so daß die Kante der beiden Flächen, durch welche man sieht, unten liegt, so erscheinen die Gegenstände viel tiefer, mit farbigen Rändern und ihre horizontalen Kanten als Bogen, deren concave Seite nach unten gerichtet ist.

Die Farben der Ränder können erst später ihre Erklärung finden; die andern Erscheinungen ergeben sich sehr leicht aus den Brechungs-Gesetzen. abcf ist (Fig. 110.) der Weg eines Strahles.



Fig. 110.

§ 86. Erklärung. Gläser, welche von Kugelabschnitten begrenzt werden, nennt man sphärische Linsen. Sphärische Linsen.

Man unterscheidet biconvexe (Fig. 111 a), biconcave (d), planconvexe (b), planconcave (e) und concav-convexe Linsen (f). Die letzte Art nennt man Menisken. Die Linsen a, f, d müssen so gearbeitet sein, daß die Kugelmittelpunkte mit dem Mittelpunkte der Linse in einer geraden Linie liegen, die Linsen e und b so, daß die Verbindungslinie des Kugelmittelpunktes mit dem Mittelpunkte der krummen Begrenzungsfläche auf der begrenzenden Ebene senkrecht steht. Diese gerade Linie heißt Achse der Linse.

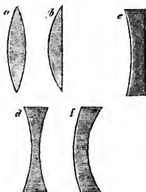


Fig. 111.

§ 87. Die biconvexe Linse. Von einem Gegenstande, welcher sich in einiger Entfernung von einer Biconvexlinse befindet, wird ein umgekehrtes Bild hinter derselben erzeugt. Daraus folgt, daß die von jedem Punkte ausgehenden Strahlen durch die Linse so gebrochen werden, daß sie sich hinter derselben wieder in einem Punkte vereinigen. Die Gesetze dieser Brechung sind folgende: Die biconvexe Linse.

1) Die von einem in der Achse liegenden Punkte ausgehenden Strahlen werden so gebrochen, daß sie die Achse schneiden.

2) Alle Strahlen desselben, welche gleich weit von der Achse, also

in einem Kreise, die Linse treffen, schneiden nach der Brechung in ein und denselben Punkte der Achse ein.

Beide Gesetze sind in ganz ähnlicher Art zu beweisen, wie beim Hohlspiegel.

Formel für den Ort der durch die Biconvexlinse erzeugten Bilder von Punkten in der Achse.

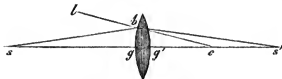
3) Für diejenigen Strahlen, die so dicht an der Achse einfallen, daß man ihre Länge gleich der des Hauptstrahles annehmen kann (d. i. ungefähr 5 — 6° von der Achse), erhält man die Entfernung dieses Einschnittspunktes von der Linse durch die Formel

$$\frac{n-1}{R} + \frac{n-1}{r} = \frac{1}{\alpha} + \frac{1}{a},$$

wo n der Brechungsexponent, R und r die Kugelradien, a die Entfernung des leuchtenden Punktes von der Linse, α die gesuchte Entfernung des Einschnittspunktes ist.

Entwickelung derselben.

Fig. 112.



Entwickelung der Formel: Es sei (Fig. 112.) s ein leuchtender Punkt, ss' die Achse der Linse, sb ein beliebiger Strahl, der so nahe an sg einfällt, daß man sb = sg setzen kann, cl das Einfallsloth, bs' die Richtung des Strahles nach der ersten Brechung.

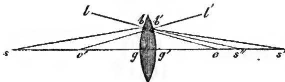
$$\text{Nun ist } \frac{sb}{sc} = \frac{\sin bcs}{\sin cbs} = \frac{\sin bcs}{\sin sbl}$$

$$\text{ferner } \frac{cs'}{bs'} = \frac{\sin cbs'}{\sin bcs'} = \frac{\sin cbs'}{\sin bcs}$$

$$\text{folglich } \frac{sb.cs'}{sc.bs'} = \frac{\sin bcs \,.\, \sin cbs'}{\sin sbl \,.\, \sin bcs} = \frac{1}{n} \quad \text{(I.)}$$

wenn n der Brechungsexponent ist.

Fig. 113.



Es sei ferner (Fig. 113.) l'c' das Einfallsloth für den gebrochenen Strahl bb', b's'' die Richtung des Strahles nach der zweiten Brechung,

$$\text{dann ist } \frac{s'b'}{s'c'} = \frac{\sin b'c's'}{\sin c'b's'} = \frac{\sin b'c's''}{\sin c'b'b}$$

$$\frac{c's''}{s''b'} = \frac{\sin c'b's''}{\sin b'c's''} = \frac{\sin l'b's''}{\sin b'c's''}$$

$$\text{folglich } \frac{s'b' \cdot c's''}{s'c' \cdot s''b'} = \frac{\sin l'b's''}{\sin c'b'b} = n \qquad \text{(II.)}$$

Setzt man nun $sg = a$, $s''g' = \alpha$, $cb = R$, $c'b' = r$, $s'b' = s'g' = f$ und ist die Dicke der Linse so gering, daß man sie vernachlässigen, also $gg' = o$ setzen kann, so erhalten die Gleichungen (I.) und (II.) folgende Form:

$$\text{I. } \frac{a(f-R)}{(a+R)f} = \frac{1}{n} \quad \text{und II. } \frac{f(\alpha + r)}{(f+r)\alpha} = n$$

Eliminirt man aus diesen Gleichungen f, so erhält man:

$$\frac{aRn}{an - a - R} = \frac{-\alpha r n}{\alpha n - \alpha - r}$$

$$\text{d. i. } (n-1)\, a\alpha R + (n-1)\, a\alpha r = aRr + \alpha Rr$$

$$\text{durch } a\alpha Rr \text{ dividirt, giebt: } \frac{n-1}{r} + \frac{n-1}{R} = \frac{1}{\alpha} + \frac{1}{a}$$

Für bestimmte Werthe von n, R, r und a hat hiernach auch α einen bestimmten Werth; d. h. alle von einem bestimmten Punkte der Achse einer bestimmten Linse ausgehenden Strahlen, welche innerhalb einer Entfernung von 5 — 6° vom Hauptstrahle einfallen, haben einen gemeinschaftlichen Durchschnittspunkt und erzeugen daher hier ein Bild. Soll dieses Bild aber deutlich sein, so müssen alle Strahlen, welche nicht in diesen Punkt einschneiden, das sind die, welche in einer größeren Entfernung als 5 — 6° vom Hauptstrahle einfallen, durch einen Schirm abgehalten, die Linse muß „geblendet" werden. Blendung. Oeffnung der Linse.

Der Kugelabschnitt der Linse, welcher frei bleibt (und dessen Mittelpunktswinkel = 10 — 12°), heißt Oeffnung der Linse. Die Oeffnung der Linse ist demnach desto kleiner, je kleiner die Radien sind. Ist $n = \frac{3}{2}$ und $R = r$, so geht die Formel über in:

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{\alpha} + \frac{1}{a}.$$

Aus dieser Formel ergeben sich nun folgende Gesetze:

a. Befindet sich der leuchtende Punkt in unendlicher Entfernung vor der Linse, so erscheint sein Bild in der Entfernung r hinter der Linse. (Brennpunkt, Brennweite.) Ortsbestimmung der Bilder aus der Formel.

b. Rückt der leuchtende Punkt aus unendlicher Entfernung bis in die Entfernung r, so rückt sein Bild aus r bis in unendliche Entfernung hinter der Linse.

In der Entfernung 2 r stehen Punkt und Bild gleich weit von der Linse.

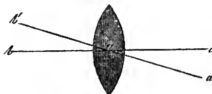
8*

c. Rückt der leuchtende Punkt aus dem Brennpunkte bis an die Linse, so bewegt sich sein Bild aus unendlicher Entfernung vor der Linse bis an die Linse.

Diese Gesetze lassen sich ganz in derselben Weise aus der Formel entwickeln, wie die entsprechenden für den Hohlspiegel; denn die Formel ist ja ganz dieselbe, nur daß, wo dort p stand, hier r steht, und daß hier die positiven Werthe von α die Entfernungen hinter der Linse bedeuten, während sie dort die Entfernungen vor dem Spiegel bedeuteten.

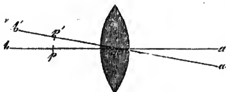
Bilder von Punkten außer der Achse.

Fig. 114.



Liegt (Fig. 114.) ein leuchtender Punkt (a') außerhalb der Achse ab, jedoch so, daß die von ihm nach dem Mittelpunkte der Linse gezogene gerade Linie a'c einen sehr kleinen Winkel aca' mit der Achse bildet, so steht diese Linie a'b' fast senkrecht auf den beiden Begrenzungsflächen der Linse; man nennt sie daher eine Nebenachse derselben. Da nun diese Nebenachse nahe dieselbe Richtung gegen die Begrenzungsflächen der Linse hat, als die Hauptachse, so müssen auch diejenigen Strahlen des leuchtenden Punktes a', welche nahe an der Nebenachse a'c einfallen, fast dieselbe Richtung gegen die beiden Begrenzungsflächen der Linse haben, als diejenigen Strahlen eines in der Hauptachse liegenden Punktes a, welche nahe an der Hauptachse ab einfallen. Sie müssen daher auch in Beziehung auf diese Nebenachse dieselbe Brechung erleiden, als letztere in Beziehung auf die Hauptachse; sie müssen daher in der Nebenachse ein Bild des leuchtenden Punktes erzeugen, und für seine Entfernung von der Linse muß die Formel $\frac{1}{r} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$ gelten.

Fig. 115.



Ist demnach (Fig. 115.) p das Bild des Punktes a, und p' das von a', so muß, wenn a'c = ac, auch cp' = cp sein.

Von Punkten, deren Nebenachse mit der Hauptachse einen zu großen Winkel bildet, erhält man kein deutliches Bild.

Hiernach läßt sich nun der Ort, die Größe und die Stellung des Bildes von einem ganzen Objecte finden, indem man den Ort des Bildes seiner äußersten Punkte bestimmt.

Das Verfahren ist ganz dasselbe, wie beim Hohlspiegel.

Es ergeben sich dann folgende Gesetze:

a. Von einem Objecte in unendlicher Entfernung entsteht ein unendlich kleines Bild im Brennpunkte hinter der Linse. Ort, Größe und Stellung der Bilder von ganzen Objecten.

b. Rückt das Object aus unendlicher Entfernung bis in den Brennpunkt, so bewegt sich sein Bild von dem Brennpunkte hinter der Linse bis in unendliche Entfernung, ist umgekehrt und wächst bis zu unendlicher Größe.

Beträgt die Entfernung des Objectes 2 r, so ist auch die Entfernung des Bildes = 2 r und seine Größe ist gleich der des Objects.

c. Rückt das Object vom Brennpunkte bis an die Linse, so geht das Bild aus unendlicher Entfernung vor der Linse bis an die Linse, ist aufrecht, und fällt von unendlicher Größe bis zur Größe des Objectes.

Erklärung. Der Winkel, welchen die Hauptstrahlen zweier einander gegenüberliegender Grenzpunkte des Objectes noch mit einander bilden können, ohne daß das Bild undeutlich wird, heißt Feld der Linse. Feld der Linse.

Die Formel für die Planconvexlinse erhält man, wenn man in die Formel für die Biconvexlinse $R = \infty$ setzt. Die Planconvexlinse wirkt wie eine Biconvexlinse von doppelt so großem Krümmungshalbmesser.

Ebenso wirkt eine Concavconvexlinse, in welcher der Halbmesser der convexen Fläche kleiner (also auch die Krümmung stärker), als der der concaven ist, wie eine Convexlinse. Man erhält für sie die Formel, wenn man in die Formel der Biconvexlinse den Radius der concaven Fläche negativ setzt.

§ 88. Die Biconcav-Linse. Die Formel für die Biconcavlinse erhält man aus der der Biconvexlinse, wenn man R und r negativ nimmt. Die Biconcavlinse.

Die Erscheinungen sind hier folgende:

a. Von einem leuchtenden Punkte in unendlicher Entfernung erscheint das Bild in der Entfernung r vor der Linse.

b. Rückt der leuchtende Punkt aus unendlicher Entfernung bis an die Linse, so geht das Bild vom Brennpunkte bis an die Linse.

Für den Ort des Bildes von einem ganzen Objecte gelten dieselben Gesetze, dabei ist das Bild stets aufrecht und wächst von unendlich kleiner Größe bis zur Größe des Objects.

Die planconcave Linse wirkt wie die biconcave, nur hat sie eine doppelt so große Brennweite, als die Biconcavlinse von gleichem Krümmungshalbmesser. Man erhält für sie die Formel, wenn man in die für die letztere $R = \infty$ setzt.

Auch die convex-concave Linse, in welcher der Krümmungshalbmesser der concaven Seite kleiner ist (also die Krümmung stärker), als der der

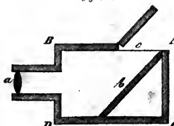
convexen, wirkt wie die Biconcavlinse. Man erhält für sie die Formel, wenn man in die für die Biconvexlinse den Radius der concaven Seite negativ annimmt.

E. Optische Instrumente.

Brenn- und Leseglaser, die Camera obscura,

§ 89. 1) Brenngläser und Lesegläser sind Convexlinsen von großer Brennweite.

Fig. 116.



2) Die Camera obscura (Fig. 116.) ist ein dunkler Raum ABCD, in welchem die durch eine Convexlinse von großer Brennweite a erzeugten Bilder von einem Planspiegel b auf eine horizontale, matt geschliffene Glasplatte c geworfen werden.

Sie wird auch zur Darstellung der Daguerre'schen Lichtbilder benutzt. Man läßt zu diesem Zwecke die Bilder auf eine jodirte und bromirte Silberplatte fallen, setzt diese nachher Quecksilberdämpfen aus (wobei sich die vom Lichte getroffenen Stellen mit Quecksilbertröpfchen belegen), und wäscht sie zuletzt mit unterschwefligsaurem Natron ab (um die nicht mit Quecksilber belegten Stellen von Jod und Brom zu befreien).

Die Camera obscura wurde um das Jahr 1650 vom Neapolitaner Porta erfunden. Die Lichtbilder von dem Franzosen Daguerre 1838.

das einfache Mikroskop,

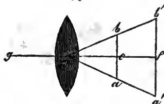
§ 90. Vergrößerungsgläser. 1) Linsen von sehr kleiner Brennweite sind einfache Mikroskope (Lupen).

Das Object wird so zwischen die Linse und den Brennpunkt gehalten, daß das Bild in der deutlichen Sehweite erscheint.

Die deutliche Sehweite ist für ein gesundes Auge 8 — 10 Zoll.

Durch das einfache Mikroskop erscheint eine Linie $\frac{d + r}{r}$ mal so groß, als sie wirklich ist, und eine Fläche $\left(\frac{d + r}{r}\right)^2$ mal so groß, wo d die deutliche Sehweite, r den Krümmungshalbmesser bezeichnet.

Fig. 117.



ab (Fig. 117.) sei das Object, a' b' das Bild, fg die Hauptachse, dann ist:

$$\frac{a'\,b'}{a\,b} = \frac{m\,f}{m\,c}$$

Setze mf = d und mc = x, so ist:

$$\frac{a'\,b'}{a\,b} = \frac{d}{x}$$

Nach der Formel ist aber $\frac{1}{x} - \frac{1}{d} = \frac{1}{r}$, wo r der Krümmungshalbmesser (d muß negativ gesetzt werden, weil das Bild vor der Linse liegt), und hieraus ist $x = \frac{r\,d}{r + d}$. Diesen Werth von x in die obige Gleichung gesetzt, giebt

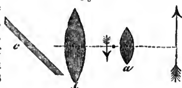
$$\frac{a'\,b'}{a\,b} = \frac{d + r}{r}$$

Je kleiner also r und je größer d, desto stärker ist die Vergrößerung.

das Sonnenmikroskop.

2) Das Sonnenmikroskop (Fig. 118.) besteht aus einer Convexlinse von kleiner Brennweite a, welche von den kleinen Gegenständen, die man vor der Linse außerhalb der Brennweite anbringt, auf der weißen Wand eines verdunkelten Zimmers ein sehr vergrößertes Bild erzeugt.

Fig. 118.



Da aber die von dem kleinen Objecte ausgehenden Strahlen auf eine große Fläche ausgebreitet werden, so muß, soll das Bild nicht undeutlich werden, das Object sehr stark erleuchtet sein. Dies geschieht durch eine oder mehrere Convexlinsen b, welche das von einem Planspiegel c auf sie geworfene Sonnenlicht auf dem Objecte concentriren. Anstatt des Sonnenlichtes bedient man sich auch des Drummond'schen Kalklichtes. — Hydrogen-Oxygen-Mikroskop.

Das Sonnenmikroskop wurde von Lieberkühn 1738 erfunden.

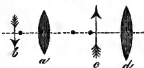
die Zauberlaterne.

3) Die Zauberlaterne (laterna magica) unterscheidet sich von dem Sonnenmikroskope nur dadurch, daß die Objecte auf Glas gemalte Bilder sind, und daß diese durch eine Lampe erleuchtet werden.

das zusammengesetzte Mikroskop.

4) Das zusammengesetzte Mikroskop (Fig. 119.) besteht aus einer Linse von sehr kleiner Brennweite a, welche von dem außerhalb der Brennweite befindlichen Object b ein vergrößertes Bild c erzeugt (Objectivglas), und einer andern von etwas größerer Brennweite d, welche als Lupe zur Betrachtung jenes großen Bildes dient (Ocularglas).

Fig. 119.



Außerdem enthält das Instrument gewöhnlich noch eine Erleuchtungslinse oder einen Erleuchtungsspiegel, und anstatt des einen Objectivglases, zwei oder mehrere dicht an einanderliegende Linsen, wodurch die Brechung, also auch die Vergrößerung verstärkt wird, ohne daß sich dadurch das Gesichtsfeld verkleinert.

Fernröhre.

§ 91. **Fernröhre.** Die Einrichtung aller Fernröhre stimmt darin überein, daß durch einen Hohlspiegel oder eine Convexlinse von entfernten Gegenständen ein Bild in der Nähe erzeugt, und dieses durch ein Vergrößerungsglas betrachtet wird. Nur der Operngucker weicht hiervon ab.

Das Newton'sche Fernrohr.

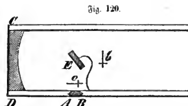


Fig. 120.

1) Das Newton'sche Fernrohr (Fig. 120.) besteht aus einem großen Hohlspiegel C D, welcher von entfernten Gegenständen ein Bild nahe am Brennpunkt b erzeugen würde, wenn sich die zurückgeworfenen Strahlen dort vereinigen könnten. Ehe sie sich aber vereinigen, werden sie von einem Planspiegel E aufgefangen und nach der Seitenwand geworfen, wo dann ein Bild c entsteht, welches durch ein in der Wand des Rohres befindliches Vergrößerungsglas AB betrachtet wird.

das Keppler'sche.

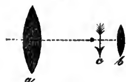


Fig. 121.

2) Das astronomische oder das Keppler'sche Fernrohr (Fig. 121.) ist aus einer Convexlinse von großer Brennweite a (Objectivglas) und einer andern von sehr kleiner, b, so zusammengesetzt, daß die Brennpunkte zusammenfallen. Die von der ersteren in der Brennweite der zweiten erzeugten Bilder, c, werden durch diese vergrößert.

Es wurde von Keppler um das Jahr 1630 construirt.

das Erdfernrohr.



Fig. 122.

3) Das Erdfernrohr (Fig. 122.) besteht aus einem Objectivglase I. von großer und drei Ocularglasern von kleiner Brennweite. (II., III., IV.) Die letzteren bleiben in unveränderter Stellung gegen einander und zwar so, daß ihre Brennpunkte zusammenliegen. Das erstere muß jedoch für jedes Object so gestellt werden, daß das von ihm erzeugte Bild in die Brennweite des ersten Oculars (II.) nahe an den Brennpunkt fällt. (Die Pfeile bedeuten die durch die Linsen erzeugten Bilder.)

das Galiläi'sche.

4) Das Galiläi'sche oder das holländische Fernrohr (Operngucker) enthält ein convexes Objectivglas von großer und ein concaves Ocularglas von kleiner Brennweite, so zusammengestellt, daß die von irgend einem Punkte des Objectes kommenden und nach der Brechung convergirenden Strahlen durch das Ocularglas, ehe sie sich vereinigen, wieder so divergirend gemacht werden, als ob sie von einem nahe vor dem Ocularglase liegenden Punkt herkämen, wodurch ein naheliegendes, vergrößertes Bild des Objectes entsteht.

Die Erfindung desselben fällt in die Zeit von 1600—1610.

F. Das menschliche Auge und das Sehen.

Beschreibung des Auges.

§ 92. Das Auge. (Nachsteh. Fig. 123.) Das menschliche Auge, so wie das aller Wirbelthiere, ist ein optisches Instrument. Im Innern des


Fig. 123.

Auges befindet sich nämlich eine Converlinse (Krystalllinse), welche von den Gegenständen auf dem zu einer Haut sich ausbreitenden Sehnerv (Netzhaut) ein Bild erzeugt (also von jedem Punkte des Objectes die Lichtstrahlen auf die Netzhaut concentrirt), wodurch die Empfindung des Sehens entsteht. Die Fassung dieses Apparates besteht aus 2 Kugelabschnitten, von denen der größere von der weißen undurchsichtigen, der kleinere, converere von der durchsichtigen Hornhaut umschlossen ist. Erstere ist im Innern mit der geschwärzten Aderhaut bekleidet und über dieser liegt die Nervenhaut (Netzhaut). Der größere Kugelabschnitt ist von dem kleineren durch eine ebene gefärbte Haut, die Iris, geschieden, welche in der Mitte ein rundes, der Erweiterung und Verengung fähiges Loch, die Pupille, hat, und welche gewissermaßen die Blendung für die unmittelbar hinter ihr in einer durchsichtigen Kapsel befestigte Krystalllinse abgiebt. Der vordere Kugelabschnitt ist mit einer klaren Flüssigkeit, der „wässrigen Feuchtigkeit," der größere mit einer durchsichtigen, gallertartigen Substanz, der „Glasfeuchtigkeit," angefüllt.

Die Dimensionen der einzelnen Theile des menschlichen Auges:

Dimensionen der Theile des Auges.

Krümmungshalbmesser der undurchsichtigen Hornhaut	$= 5 - 5\frac{1}{2}$	Linien.
„ „ durchsichtigen „	$= 3\frac{1}{2} - 4$	„
Durchmesser der Iris	$= 5\frac{1}{2} - 6$	„
„ „ Pupille	$= 1\frac{1}{2} - 3\frac{1}{2}$	„
Dicke der durchsichtigen Hornhaut	$= \frac{1}{2}$	„
Entfernung der Pupille von der durchsicht. Hornh.	$= 1$	„
„ „ „ „ „ Linse	$= \frac{1}{2}$	„
Vorderer Krümmungshalbmesser der Linse . . .	$= 3\frac{1}{2} - 5$	„
Hinterer „ „ „	$= 2\frac{1}{2} - 3$	„
Durchmesser der Linse	$= 5$	„
Dicke derselben	$= 2\frac{1}{2}$	„
Länge der Augenachse	$= 11 - 12$	„

Warum mag die Aderhaut geschwärzt sein? Bei den Albinos fehlt diese schwarze Färbung. Was ist die Folge davon? Die Pupille vergrößert sich im Dunkeln und zieht sich im Hellen zusammen. Warum kann man nicht gleich sehen, wenn man aus einem dunkeln in einen hellen Raum kommt, und umgekehrt? Man empfindet Augenschmerzen, wenn man ein Stacket entlang geht, durch welches die Sonne scheint. Warum?

Accommodationsvermögen des Auges.

1) Obwohl bei einer Converlinse die Bilder von verschieden entfernten Gegenständen in verschiedener Entfernung hinter der Linse liegen, befindet sich doch bei einem gesunden Auge das Bild stets auf der Netzhaut. Das Auge muß also die Fähigkeit besitzen, sich so zu verändern, daß das Bild immer auf die Netzhaut zu liegen kommt (Accommodationsvermögen). Das Accommodationsvermögen besteht vielleicht in dem

Vermögen, die Convexität der durchsichtigen Hornhaut oder der Krystalllinse, oder den Ort der letzteren zu verändern.

2) Kurzsichtig nennt man Personen, deren deutliche Sehweite kleiner als 8 Zoll, weitsichtig solche, deren deutliche Sehweite größer als 10 Zoll ist. Erstere gebrauchen concave, letztere convexe Brillen.

Warum?

Woher rühren diese Fehler? Kinder sind kurzsichtig, aus welchem Grunde? Die Kurzsichtigkeit kommt in der Regel nur bei jungen, die Weitsichtigkeit nur bei alten Personen vor. Warum?

Messung der Sehweite.

Optometer sind Instrumente zur Messung der Sehweite. Als Optometer dient eine grade, schwarze Linie auf weißem Grunde. Dieselbe fast in der Richtung der Augenachse so gehalten, daß ihr Anfangspunkt ein wenig unter dem Auge liegt, erscheint als Doppelkegel, dessen Spitze die deutliche Sehweite ist.

Woher kommt das?

Eine andere Art Optometer besteht aus zwei in einander steckenden verschiebbaren Röhren, die beide an dem einen Ende durch eine Scheibe verschlossen sind. Die Scheibe der äußern enthält 2 feine Spalten, deren Entfernung von einander kleiner, als der Durchmesser der Pupille. Die Scheibe der innern einen Spalt in gleicher Richtung mit den ersteren. Mit einem Auge durch die beiden Spalten nach dem hellen Himmel gesehen, erscheint der innere Spalt einfach, wenn er sich in der Entfernung der deutlichen Sehweite von den beiden andern befindet; in jeder andern Entfernung erscheint er doppelt.

Aus welchem Grunde?

Erregung des Augennervs durch das Licht.

3) Um einen Lichteindruck zu empfinden, muß derselbe einige Zeit gedauert haben. Z. B. eine abgeschossene Flintenkugel sieht man nicht.

4) Jeder Lichteindruck wird aber auch noch einige Zeit nach dem Aufhören desselben empfunden.

Eine glühende Kohle schnell im Kreise herumgedreht, erscheint als feuriger Kreis. An einem Wagenrade, welches schnell um die Achse gedreht wird, sieht man die Speichen nicht; der Raum, welchen sie durchlaufen, erscheint von einer halbdurchsichtigen Materie erfüllt.

5) Der Lichteindruck wird nicht nur auf der unmittelbar vom Lichte getroffenen Stelle der Nervenhaut, sondern auch in deren Umgebung empfunden (Irradiation).

Die Mondsichel scheint zu einem größern Kreise zu gehören, als der aschfarbene, unerleuchtete Theil des Mondes. Die hellen Sterne erscheinen uns größer, als die weniger hellen.

6) Die Stelle, in welcher der Augennerv aus dem Kopfe in das Auge trifft, ist für das Licht unempfindlich (punctum coecum).

Macht man zwei Punkte auf Papier, welche ungefähr einen Zoll weit von einander abstehen, und betrachtet den rechten Punkt mit dem linken Auge, oder

umgekehrt, so findet man, wenn man das Papier dem Auge nähert, eine bestimmte Entfernung, bei welcher der andere Punkt verschwindet. Nähert man das Papier noch mehr, so kommt derselbe wieder zum Vorschein.

7) Der graue Staar ist eine Verdunkelung der Krystalllinse; der schwarze eine Abstumpfung des Nervs. Ersterer wird geheilt, indem die Krystalllinse herausgenommen oder nach unten gedrückt wird; letzterer ist unheilbar.

Warum können Personen, denen der graue Staar operirt ist, doch noch sehen. Sie sind aber weitsichtig; warum?

Das Sehen.

Beim Sehen empfinden und urtheilen wir.

§ 93. Die Empfindung des Sehens entsteht, wie oben gezeigt, durch den Eindruck, den das Netzhautbild auf unsern Sehnerv macht. Von was für einem Gegenstande aber dieser Nerveneindruck herrührt, erfahren wir durch denselben nicht, wenn wir uns nicht früher durch den Tastsinn in Kenntniß gesetzt haben (was gewöhnlich in der Kindheit geschieht), was für ein Gegenstand dem Eindrucke auf den Sehnerv entspricht (daher die Neigung der Kinder, Alles zu betasten). Das Sehen ist also nicht ein bloßes Empfinden, sondern zugleich ein Urtheilen. (Ebenso verhält es sich mit allen übrigen Sinneswahrnehmungen.)

Ein Blindgeborener, der durch seine übrigen Sinne recht wohl seine Umgebung kennt, würde, wenn er auf einmal sehen lernte, die ihm bekannten Gegenstände vermittelst des Gesichtes nicht erkennen. Warum erscheinen uns die Gegenstände aufrecht, trotzdem, daß die Netzhautbilder derselben umgekehrt sind? Warum sehen wir jeden Gegenstand nur einfach, obwohl zwei Bilder (in jedem Auge eins) von ihm entstehen? aber doppelt, wenn wir das eine Auge etwas drücken oder auf einen andern dahinter oder davor stehenden Gegenstand sehen?

Unterscheidung einer Fläche von einem Körper.

§ 94. Der Maler ist im Stande, bloß vermittelst schwarzer Farbe auf eine weiße Fläche einen Körper zu malen. Die eine Fläche mit der verschiedenen Vertheilung von Licht und Schatten macht also fast denselben Eindruck auf unser Auge, als die nach verschiedenen Richtungen sich erstreckenden Begrenzungsflächen eines Körpers. Ob wir also eine einzige Fläche oder einen Körper vor uns haben, und was dieser für eine Gestalt habe (denn diese hängt von den Begrenzungsflächen ab), beurtheilen wir zunächst aus der verschiedenen Vertheilung von Licht und Schatten auf seinen Flächen.

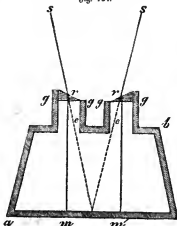
Bei eckigen Körpern sind die Licht- und Schattengrenzen gerade Linien; bei runden Körpern nimmt das Licht allmählich ab; z. B. bei einer Kugel hat ein Punkt, bei einem Cylinder eine Linie das hellste Licht; von da geht es allmählich in Schatten über.

Aber doch läßt sich selbst das täuschendste Bild noch von einem Körper unterscheiden, und zwar deshalb, weil man von einem Körper in jedem Auge ein anderes Netzhautbild erhält. Mit dem linken Auge

sieht man nämlich mehr von den links liegenden Theilen desselben, mit dem rechten mehr von den rechts liegenden. Daß sich unser Urtheil gerade auf diesen Umstand stützt, sind wir uns zwar nicht bewußt, läßt sich aber durch ein Instrument, das sogenannte Stereoscop, beweisen, dessen Einrichtung folgende ist:

Das Stereoskop.

Fig. 124.



In den Deckel eines Kästchens ab (Fig. 124.) sind zwei Röhren cc so eingesetzt, daß man durch sie wie durch eine Brille nach dem Boden desselben sehen kann. Hier liegen neben einander zwei Bilder von ein und demselben Gegenstande, am besten Daguerre'sche, von denen das eine den Gegenstand so darstellt, wie man ihn mit dem linken, das andere, wie man ihn mit dem rechten Auge sieht. In die beiden Röhren cc sind zwei prismatische Gläser gg eingesetzt, durch welche die Lichtstrahlen so gebrochen werden, daß die beiden neben einander liegenden Bilder auf ein und derselben Stelle erscheinen. Sieht man nun von oben durch die Gläser, so erblickt man nicht zwei Bilder, sondern einen Körper.

Damit die Bilder hinlänglich erleuchtet sind, muß die eine Seitenwand des Kästchens zur Hälfte ausgeschnitten sein.

Gesetzt m und m' sind zwei entsprechende Punkte der beiden Bilder, so gehen die Lichtstrahlen durch die Gläser in der Richtung mrs, so daß man die Punkte zusammen in dem Durchschnittspunkte der Linien sr sieht.

Beurtheilung der Größe eines Gegenstandes.

§ 95. Ebenso erfahren wir durch das Netzhautbild allein nicht, wie groß ein Gegenstand und wie weit er von uns entfernt ist. Für sehr kleine oder sehr entfernte Gegenstände, d. i. für Gegenstände, von welchen das Netzhautbild sehr klein ist, ist zwar die Göße desselben ein Haltpunkt zur Beurtheilung der Größe des Gegenstandes. Wie wir uns aber ein Urtheil über die Größe größerer oder näherer Gegenstände verschaffen, wird die folgende Betrachtung lehren.

Unter Größe eines Gegenstandes verstehen wir die Länge seiner Dimensionen, und Dimensionen sind gerade Linien. Nun kann man aber, streng genommen, immer nur wenige Punkte auf einmal genau sehen. Wollen wir also die Länge einer nicht ganz kurzen Linie beurtheilen, so richten wir das Auge (die Augenachse) zuerst auf den einen Endpunkt und drehen dasselbe bis zum andern Endpunkte. Der Winkel, um den sich hierbei das Auge dreht, heißt Sehwinkel. Nun wissen wir aus Erfahrung, daß sich das Auge um einen desto größern Winkel

drehen muß, je länger die Linie ist, und schließen daher umgekehrt: je größer der Sehwinkel, desto größer die Linie. Wir wissen aber auch, daß der Sehwinkel ein und derselben Linie nicht immer derselbe bleibt, sondern größer oder kleiner wird, je nachdem die Linie dem Auge näher oder ferner liegt, je nachdem sie senkrecht oder schief gegen das Auge gerichtet ist. Wir verlassen uns daher bei Beurtheilung der Länge einer Linie nicht blos auf den Sehwinkel, sondern bringen dabei auch die Entfernung und die Richtung derselben in Anschlag. Außerdem benutzen wir bei Beurtheilung einer Länge auch noch die Vergleichung derselben mit andern, uns bekannten, daneben befindlichen Längen.

Wir beurtheilen also die Dimensionen eines Gegenstandes: 1) nach dem Sehwinkel, wobei wir die Entfernung und die Richtung berücksichtigen, und 2) nach der Größe, in der uns andere bekannte Längen erscheinen.

Die beiden parallelen Reihen einer Baumallee, die beiden parallelen Eisenbahnschienen, die beiden Ränder eines Trottoirs, der Fußboden und die Decke eines langen Corridors scheinen in der Ferne zusammenzulaufen. Eine horizontale Fläche scheint in ihren entfernteren Theilen aufzusteigen. Wie stellt der Maler eine Allee, die Decke und den Fußboden eines langen Zimmers u. s. w. dar? Wie eine horizontale Fläche? Warum erscheinen uns Bäume, Häuser ꝛc. einer Landschaft, durch ein offenes Fenster gesehen, von dem man etwas entfernt steht, so klein? Den aufgespannten Regenschirm hält man gewöhnlich für viel breiter, als die offene Hausthür, in welche man eintreten will, obgleich das Umgekehrte der Fall ist. Ein kleiner Fleck auf der Nase erscheint uns sehr groß. In der Ferne scheint uns eine Windmühle sich langsamer zu drehen, ein Reiter langsamer zu reiten u. dergl., als in der Nähe. Eine Mücke, die seitwärts dicht an unserm Auge vorbeifliegt, halten wir für einen großen, in der Ferne fliegenden Vogel und umgekehrt. Von einem Thurme gesehen, erscheinen uns die Personen, die Häuser ꝛc. viel kleiner, als wenn sie in gleicher horizontaler Entfernung von uns sind. Warum erscheinen uns Sonne und Mond beim Aufgange und Untergange viel größer, als wenn sie hoch über dem Horizonte stehen, obgleich der Sehwinkel in beiden Fällen derselbe ist?

Die Entfernung eines Gegenstandes von uns ist zwar auch eine gerade Linie, wir können aber ihre Länge nur unsicher nach dem Sehwinkel beurtheilen, weil sich dieser mit zunehmender Größe der Entfernung nur sehr wenig ändert. Wir wissen aber aus Erfahrung, daß uns ein Gegenstand desto größer und deutlicher erscheint, je näher er uns liegt, und schließen daraus umgekehrt: Je deutlicher und größer ein Gegenstand uns erscheint, desto näher ist er uns. Ferner wissen wir, daß zwischen einem Gegenstande und unserem Standpunkte desto mehr Gegenstände Raum haben, je ferner er von uns liegt, und schließen daraus: Je mehr Gegenstände zwischen uns und dem zu beurtheilenden liegen, desto ferner ist er. Beurtheilung der Entfernung.

Wir beurtheilen also die Entfernung aus der Größe und Deutlichkeit, in der uns der Gegenstand erscheint, und aus der Menge anderer Gegenstände, die zwischen ihm und uns liegen.

Ein Dorf scheint uns näher zu liegen, wenn das Feld mit Schnee bedeckt ist (besonders bei Sonnenschein), als im Sommer. Warum kann man die senkrechte Entfernung weniger gut beurtheilen, als die horizontale? Bei hellem Wetter schießt der Jäger in viel größere Höhen nach Vögeln, als bei trüber, besonders nebliger Witterung, und daher im erstern Falle viel öfter vergeblich, als im letztern. Ueber einen Fluß zu werfen, gelingt weniger gut, als über ein Ackerstück, welches ebenso breit erscheint. Sieht man nach Gegenständen durch die hohle Hand oder durch eine andere kleine Oeffnung, so erscheinen dieselben viel ferner, als mit freiem Auge gesehen. Der Maler malt die Gegenstände, welche er als in der Ferne liegend darstellen will, sehr klein, mit unbestimmten Farben und mit unbestimmten Umrissen. Die Höhe eines Thurmes erscheint, wenn man von oben herabsieht, viel größer, als eine gleiche horizontale Entfernung; die Sterne halten wir alle für gleich weit entfernt. Ein Thurm, der hinter einem Berge hervorragt, scheint auf dem Berge zu stehen. Die Bergspitzen eines Gebirges scheinen alle gleich weit von uns entfernt zu sein.

G. Zerlegung und Zusammensetzung des Lichtes.

Das Sonnenlicht besteht aus vielen farbigen Strahlen von verschiedener Brechbarkeit.

§ 96. Läßt man in ein verdunkeltes Zimmer durch eine kleine Oeffnung ein Bündel Sonnenstrahlen fallen, so erscheint auf der gegenüberliegenden Wand ein rundes, weißes Sonnenbild. Läßt man aber das Strahlenbündel durch ein Prisma gehen, welches man horizontal, den brechenden Winkel nach unten, hält, so erscheint das Sonnenbild:

1) höher als vorher;

2) nicht mehr rund, sondern als eine auf beiden Seiten von graden Linien, unten und oben von Kreisbogen begrenzte Figur;

3) nicht weiß, sondern farbig, und zwar von unten nach oben: roth, orange, gelb, grün, blau, violett.

Dieses veränderte Sonnenbild nennt man Spectrum.

Hieraus folgert man:

Das weiße Sonnenlicht besteht aus verschiedenfarbigen Strahlen, und diese haben verschiedene Brechbarkeit, die rothen die kleinste, die violetten die größte; das Spectrum besteht demnach aus unendlich vielen farbigen Kreisen, welche sich gegenseitig decken, und deren Farben allmählich in einander übergehen.

Erscheinungen, welche obige Hypothese bestätigen.

§ 97. Diese Hypothese wird durch folgende Erscheinungen bestätigt:

1) Wird das Bild dicht hinter dem Prisma aufgefangen, so erscheint es weniger lang und in der Mitte weiß (weil sich hier noch alle Farbenkreise decken).

Ist Staub im Zimmer, so sieht man, wie die Strahlen hinter dem Prisma divergiren.

2) Wird das durch das Prisma divergirend gemachte Licht durch eine Sammellinse wieder vereinigt, so erhält man wieder weißes Licht.

3) Sieht man das Spectrum durch ein anderes Prisma von gleichem brechenden Winkel an, so erscheint es als runder, weißer Fleck.

4) Läßt man nur rothes oder grünes ꝛc. Licht auf das Prisma auffallen, indem man ein rothes, grünes ꝛc. Glas vorhält, so erscheint anstatt des Spectrums ein rother oder grüner ꝛc. Kreis, und zwar an der Stelle, wo diese Farbe im Spectrum sich befand.

Anmerkung. Manche farbige Gläser lassen nicht eine, sondern 2, 3 oder mehr Farben durch. Dann erscheint von jeder dieser Farben ein Kreis an der betreffenden Stelle.

5) Läßt man diesen rothen, grünen ꝛc. Kreis wieder auf ein Prisma fallen, so wird diese Farbe nicht wieder in mehrere Farben zerlegt und der Kreis bleibt ein Kreis.

6) Die Farben im Spectrum liegen in einer solchen Reihenfolge, daß jede derselben aus der Mischung der beiden angrenzenden erzeugt werden kann. Z. B. orange aus roth und gelb, grün aus blau und gelb u. s. w. (Hierdurch wird bestätigt, daß jede Farbe des Spectrums durch Deckung von mehreren Kreisen erzeugt wird.)

Hiernach lassen sich folgende Erscheinungen erklären: Durch das Prisma gesehen, erscheint ein kleiner weißer Fleck auf schwarzem Grunde als umgekehrtes Farbenspectrum (oben roth, unten violett); ein horizontaler weißer Streifen als bunte Fläche, deren oberer Rand roth, deren unterer violett; ein verticaler weißer Streifen in der Mitte weiß, oben roth, unten violett; eine weiße Fläche in der Mitte weiß, oben mit einem rothen, unten mit einem violetten Rande. Wird ein schwarzer Fleck, ein schwarzer Streifen ꝛc. auf weißem Grunde durch das Prisma angesehen, so zeigen sich deren Ränder entgegengesetzt gefärbt. Auch farbige Gegenstände erscheinen, durch das Prisma gesehen, mit verschiedenfarbigen Rändern. Warum?

§ 98. Vereinigt man durch eine Sammellinse alle Farben des Spectrums mit Ausnahme einer, so erhält man ein farbiges Bild, und zwar: Complementärfarben.

wenn man roth wegläßt, ein grünes,
" " orange " " blaues,
" " gelb " " violettes,

und umgekehrt. Man kann also sagen:

Roth ergänzt grün, orange ergänzt blau, gelb ergänzt violett zu weiß, und nennt jedes dieser Farbenpaare Ergänzungs- oder Complementärfarben.

Bemerkung. Schreibt man die Farben des Spectrums der Reihe nach an die Ecken eines Sechsecks, so sind die einander gegenüberstehenden Farben Complementärfarben.

Der an das Abendroth grenzende heitere Himmel sieht grünlich aus. Die von einer Lichtflamme erzeugten Schatten sehen im Mondenschein blau aus. Schatten von jeder beliebigen Farbe kann man erzeugen, wenn man in einem verfinsterten Zimmer auf eine weiße Fläche durch eine kleine Oeffnung das Tageslicht, durch eine andere Oeffnung vermittelst farbigen Glases farbiges Licht fallen läßt; dann erscheint der im Tageslichte erzeugte Schatten mit der Farbe des Glases, der in dem farbigen Lichte erzeugte in der Complementärfarbe. — Bei Farbenzusammenstellungen heben sich die Complementärfarben gegenseitig, d. h. sie erscheinen lebhafter; z. B. rothe Blumen auf einem grünen Rasenteppich, ein blaues Tuch auf einem orangefarbenen Kleide u. s. w.

Die natürlichen Farben der Körper entstehen dadurch, daß eine oder mehrere Farben des auf sie fallenden Lichtes nicht zurückgeworfen werden. Das wird dadurch bestätigt, daß, wenn man einen grünen, rothen ꝛc. Fleck auf dunkeln Grund macht, dieser, durch das Prisma gesehen, nur eine oder einige Farben des Spectrums zeigt.

Achromatische Linsen.

§ 99. Da die verschiedenen Farben des weißen Lichtes verschieden stark gebrochen werden, so muß auch bei jeder Brechung eine Farbenzerstreuung stattfinden. Es können also die von einem Punkte ausgehenden Strahlen durch eine Convexlinse nie wieder ganz in einen Punkt vereinigt werden; daher kommt es, daß alle durch gewöhnliche Linsen erzeugten Bilder zum Theil verwaschen und mit farbigen Rändern erscheinen. Dieser Uebelstand läßt sich dadurch beseitigen, daß man Linsen aus Crownglas (Kiesel, Kali) und Flintglas (Kiesel, Kali, Bleioxyd) zusammensetzt. Gewöhnlich setzt man eine Biconcavlinse von Flintglas und zwei Biconvexlinsen von Crownglas zusammmen. Solche Linsen heißen achromatische. Die beiden Glasarten brechen nämlich das Licht fast gleich stark (die Spectren von solchen Prismen liegen ziemlich in gleicher Höhe), aber ihr Farbenzerstreuungsvermögen ist verschieden (die Spectren sind von verschiedener Länge).

Wie durch so zusammengesetzte Linsen die Farbenzerstreuung aufgehoben werden kann, läßt sich durch folgende Betrachtung einsehen:

Zwei Prismen von gleichem brechenden Winkel und gleicher Substanz brechen und zerlegen das Licht auf gleiche Weise. Legt man sie also so an einander, daß ihre brechenden Winkel entgegengesetzte Richtung haben, so ist die Farbenzerstreuung, aber auch die Brechung aufgehoben. Ein Crownglasprisma und ein Flintglasprisma von gleichem brechenden Winkel brechen ziemlich gleich stark, aber das Spectrum ist von dem Flintglasprisma 2,089 mal so groß, als das von dem Crownglasprisma. Das Farbenzerstreuungsvermögen ist aber fast proportional der Größe des Brechungswinkels (wenn derselbe nicht gar zu groß ist), daher giebt ein Flintglasprisma ein gleich großes Spectrum mit einem Crownglasprisma, wenn der brechende Winkel des erstern 2,089 mal so klein ist, als der des letzteren. Legt man daher ein Crownglasprisma, dessen brechender Winkel $= 25^0$, und ein Flintglasprisma,

dessen brechender Winkel = $\frac{25^0}{2,089}$ d. i. von 11⁰ 58′ so zusammen, daß die brechenden Winkel entgegengesetzte Richtung haben, so ist die Farbenzerstreuung aufgehoben, aber eine Brechnung ist noch da, weil die beiden äußeren Flächen convergiren und beide Glasarten in Beziehung auf Brechung wie einerlei Substanz wirken.

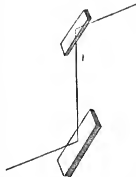
Die oben angeführten Versuche über die Zerlegung des Lichtes, sowie die daraus gezogenen Folgerungen, verdanken wir Newton. Dollond in England verfertigte das erste achromatische Fernrohr 1758. Frauenhofer vervollkommnete die achromatischen Fernröhre.

H. Polarisation.

Erscheinung der Polarisation durch Reflexion.

§ 100. Fällt ein Lichtstrahl auf eine hinten geschwärzte Glastafel, und man dreht diese so um den auffallenden Strahl, daß dieser immer denselben Winkel mit dem Spiegel bildet, so wird der Strahl in allen Lagen des Spiegels gleich gut zurückgeworfen. Läßt man aber den so zurückgeworfenen Strahl (Fig. 125.) von einer zweiten Glastafel reflectiren, und dreht diese auf die oben angegebene Weise, so wird der Strahl nicht wieder in allen Lagen gleich gut zurückgeworfen, sondern am besten, wenn der zweite Spiegel dem ersten parallel steht, oder aus der parallelen Lage um 180⁰ herumgedreht worden ist, am schlechtesten, wenn man ihn um 90⁰ oder 270⁰ gedreht hat. Die zweite Reflexion ist also am stärksten, wenn die Reflexionsebenen der beiden Spiegel zusammenfallen, am schwächsten, wenn sie senkrecht auf einander stehen.

Fig. 125.



Polarisations-Ebene, -Winkel.

Durch die Reflexion vom ersten Spiegel hat demnach das Licht eine Veränderung erlitten. Diese Veränderung heißt **Polarisation**, und das so veränderte Licht **polarisirtes Licht**. Die Ebene, in welcher ein polarisirter Strahl wieder vollständig reflectirt wird, heißt seine **Polarisations-Ebene**.

Die Polarisation ist hierbei am stärksten, wenn der Lichtstrahl auf beide Spiegel unter einem Winkel von 35⁰ 25′ auffällt. Daher heißt dieser Winkel **Polarisationswinkel**.

Auch durch Brechung wird das Licht polarisirt.

Das Licht erleidet auch durch Brechung, besonders aber, wenn es durch Krystalle, z. B. durch Turmalin, in einer gewissen Richtung hindurch geht, eine Polarisation; denn wenn ein Lichtstrahl durch mehrere übereinandergelegte Glasplatten hindurch gegangen ist, auf welche er unter einem Winkel von 35⁰ auffiel, so wird er ebenfalls von einem Spiegel, den man in der oben angegebenen Weise um diesem Strahl herumdreht, nicht in allen Lagen desselben gleich gut reflectirt.

Dieselben Erscheinungen zeigt das Licht, wenn es senkrecht durch eine Turmalinplatte gegangen ist, deren Flächen parallel der krystallographischen Hauptachse sind.

Polarisationsgesetze, bei der Reflexion.

Gesetze für die durch Reflexion bewirkte Polarisation:

1) Aus dem oben angeführten Versuche geht hervor: Die Reflexionsebene eines Strahles ist zugleich seine Polarisationsebene.

2) Alle spiegelnden Flächen, außer den metallischen, polarisiren das Licht.

Selbst das durch unregelmäßige Reflexion zerstreute Licht ist polarisirt.

3) Jeder Körper hat seinen eigenen Polarisationswinkel, und zwar ist es derjenige, bei welchem der reflectirte Strahl auf dem gebrochnen senkrecht steht.

4) Da nun die verschiedenen farbigen Strahlen, aus denen das weiße Licht besteht, verschieden stark gebrochen werden, also verschiedene Polarisationswinkel haben, so kann das weiße Licht nie vollständig polarisirt werden.

bei der Refraction, durch Glas.

Gesetze für die durch Brechung bewirkte Polarisation:

I. Durch Glas:

1) Die Polarisation durch Glas erfolgt nur dann merklich, wenn das Licht durch wenigstens 8 — 10 über einander gelegte Glasplatten gegangen, auf die es unter einem Winkel von 35° eingefallen ist.

2) Die Polarisationsebene des durch Brechung polarisirten Lichtes steht senkrecht auf der durch Reflexion polarisirten.

Das durch Brechung polarisirte Licht wird also von einem Spiegel am vollständigsten zurückgeworfen, wenn dessen Reflexionsebene auf der Brechungsebene senkrecht steht, am schlechtesten, wenn Reflexions- und Brechungsebene zusammenfallen.

durch Turmalinplatten.

II. Durch Turmalinplatten:

Die Platte, mit der man Polarisations-Versuche anstellen will, muß so geschliffen sein, daß ihre beiden Flächen der krystallographischen Hauptachse parallel sind.

1) Die Polarisationsebene steht senkrecht auf der krystallographischen Hauptachse.

Soll also das durch eine Turmalinplatte polarisirte Licht von einem Spiegel vollständig reflectirt werden, so muß dessen Reflexionsebene senkrecht auf der krystallographischen Hauptachse stehen; liegt die Hauptachse in der Reflexionsebene, so wird kein Licht reflectirt. Hieraus läßt sich schließen, und der Versuch bestätigt es:

2) Zwei Turmalinplatten, wenn sie so über einander gelegt sind, daß ihre Hauptachsen senkrecht auf einander stehen, lassen kein Licht durch; liegen ihre Hauptachsen aber parallel, so geht das Licht so gut durch, als es die Färbung der Platten erlaubt. Es können daher zwei solche Platten als Polarisations-Apparat gebraucht werden. (Fig. 126.)

Fig. 126.



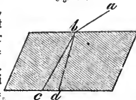
Die Polarisation wurde von Malus in Frankreich 1808 entdeckt.

J. Doppelte Brechung.

Erscheinung der doppelten Brechung am Doppelspath.

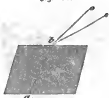
§ 101. Der Doppelspath, krystallisirter kohlensaurer Kalk, ist nach drei Richtungen hin sehr leicht spaltbar, und es läßt sich aus ihm leicht ein Rhomboëder bilden. Diejenige grade Linie nun, welche die zwei von lauter stumpfen Winkeln begrenzten Ecken verbindet, heißt Hauptachse.

Fig. 127.



Legt man auf die eine Fläche eines solchen Rhomboëders (Fig. 127.) ein Kartenblatt, das eine ganz feine Oeffnung b hat, und läßt auf diese Licht fallen, so sieht man auf der gegenüberliegenden, mit dünnem Papier überzogenen Fläche zwei Lichtpunkte, c und d. Daraus geht hervor, daß der Lichtstrahl bei seinem Eintritte in den Krystall in zwei Strahlen zertheilt worden ist.

Fig. 128.



Macht man einen Punkt a auf ein Blatt Papier und legt das Rhomboëder darauf (Fig. 128), so sieht man durch eine in ein aufgelegtes Kartenblatt gemachte Oeffnung, zwei Punkte, und zwar nur in zwei bestimmten Richtungen b o und b o'. Daraus geht hervor, daß auch beim Austreten aus dem Krystalle der Lichtstrahl sich in zwei Theile theilt. Bestimmt man für die beiden gebrochenen Strahlen den Brechungs-Exponenten, so findet man für den am stärksten gebrochenen stets denselben Werth, nämlich 1,654, für den andern aber bald einen größern, bald einen kleinern Werth, je nachdem der Strahl mehr in der Richtung der Hauptachse auffällt, oder mehr von ihr abweicht. Geht er in der Richtung der Hauptachse (bei welchem Versuche man einen Kalkspathkörper anwenden muß, von dem zwei Flächen senkrecht auf der Hauptachse stehen und zwei andere parallel derselben sind), so ist der Brechungs-Exponent ebenfalls = 1,654; steht er senkrecht auf ihr = 1,483. In ersterem Falle findet keine doppelte Brechung statt.

Ordinärer, extraordinärer Strahl.

Der Strahl, dessen Brechungs-Exponent stets gleich bleibt, heißt **ordinärer**, der andere **extraordinärer Strahl**.

Doppelte Brechung zeigt nicht blos der Kalkspath, sondern alle Krystalle, welche nicht zum regulären Krystallsysteme gehören.

Die Entdeckung der doppelten Brechung machte Bartolin in Kopenhagen 1669.

Beide Strahlen sind polarisirt. § 102. Betrachtet man die beiden von einem Kalkspathkrystall erzeugten Bilder durch eine polarisirende Turmalinplatte und dreht diese um 360° herum, so wird bald das eine schwächer und verschwindet, bald das andere, und zwar so, daß stets das eine am deutlichsten, wenn das andere verschwunden ist.

Daraus geht hervor, daß die Strahlen beider Bilder polarisirt sind, und daß die Polarisationsebenen derselben senkrecht auf einander stehen.

Fig. 129.



Nichol'sches Prisma. Diese Polarisation benutzt man, aus zwei Kalkspathprismen einen Polarisationsapparat zu construiren. Man kittet nämlich mittelst Canadabalsam zwei dreiseitige Prismen zusammen (Fig. 129.), von welchen die an einander gelegten Flächen cb gegen die daran stoßende cd eine solche Neigung haben, daß der durch cd einfallende ordinäre Strahl an der Fläche cb eine vollständige Reflexion erleidet, während der extraordinäre hindurch geht. Eine solche Zusammensetzung heißt Nichol'sches Prisma.

Farben-Erscheinungen des polar. Lichtes. § 103. Läßt man polarisirtes Licht durch Krystalle gehen, so zeigen sich farbige Ringsysteme, bei einachsigen Krystallen ein einfaches, bei zweiachsigen ein doppeltes Ringsystem.

K. Beugung und Interferenz.

Inflexions-. § 104. Der Jesuit Grimaldi fand gegen Ende des 17. Jahrhunderts, daß, wenn er durch einen feinen Spalt Licht in ein dunkles Zimmer fallen ließ, die erleuchtete Stelle größer war, als man nach der Richtung der einfallenden Strahlen hätte erwarten sollen. Er erkannte hieraus, daß das Licht, wenn es an den Rändern von undurchsichtigen Körpern vorübergeht, von seinem geradlinigen Wege abgelenkt wird. Diese Ablenkung nennt man Beugung oder Inflexion des Lichtes. Auch bemerkte er an den Rändern des erleuchteten Raumes farbige Säume.

Interferenz-Erscheinung. Ließ er durch zwei feine, dicht neben einander befindliche Oeffnungen Licht in das dunkle Zimmer fallen und fing sie auf weißem Papier in einer solchen Entfernung auf, daß sich die beiden hellen Kreise zum Theil deckten, so fand er, daß an den Stellen, welche von beiden Oeffnungen Licht erhielten, wie sich erwarten ließ, größere Helligkeit war; aber sie war von dunkeln Streifen unterbrochen.

Hieraus schloß er, und es wurde später durch Young's Versuche bestätigt, daß Lichtstrahlen, welche von derselben Lichtquelle ausgehen, sich nicht immer gegenseitig verstärken, sondern sich in gewissen Fällen aufheben.

Die Richtigkeit dieses Gesetzes läßt sich durch folgenden Versuch darthun: Zwei Spiegel werden vertical so neben einander gestellt, daß sie einen sehr stumpfen Winkel mit einander bilden. Fällt nun Licht von einem Lichtpunkte auf dieselben, so zeigt das reflectirte Licht abwechselnd helle und dunkle Streifen.

Diese gegenseitige Aufhebung der Lichtstrahlen heißt **Interferenz**.

Um die Interferenz genauer kennen zu lernen, dient folgender Versuch: Läßt man durch einen feinen Spalt rothes, grünes ꝛc. Licht in ein dunkles Zimmer fallen, indem man vor dem Spalte ein rothes, grünes ꝛc. Glas anbringt, und es dann in einiger Entfernung wieder durch einen andern Spalt gehen, so entsteht auf einem dahinter gehaltenen Papiere nicht, wie man wegen der Beugung des Lichts erwarten sollte, ein einfacher rother, grüner ꝛc. Streifen, sondern es entsteht, wegen der Interferenz, ein solcher Streifen, der durch dunkle Streifen unterbrochen ist. (Fig. 130.) Läßt man das farbige Glas weg, so daß weißes Licht einfällt, so erscheinen die dunkeln Streifen farbig, woraus man schließt, daß die Interferenz für die einzelnen farbigen Strahlen, aus denen das weiße Licht besteht, an verschiedenen Stellen stattfindet. Interferenz-versuch.

Fig. 130.



Aus diesen Gesetzen lassen sich folgende Erscheinungen erklären: Sieht man am Rande eines undurchsichtigen Körpers, etwa nahe am Mützenschirme vorbei nach dem Monde, einem Sterne oder einer entfernten Lichtflamme, so erscheinen diese Gegenstände farbig. — Die Strahlen der Sonne, welche durch einen dichtbelaubten Baum in unser Auge fallen, erscheinen in den Regenbogenfarben. — Sieht man durch ein feines Gewebe, etwa durch Flor, nach einer Lichtflamme, so erscheint ein helles Kreuz. — Eine polirte Platte mit vielen feinen Rissen erzeugt Farbenerscheinungen. — Die Farben der Seifenblasen. — Oel auf Wasser gegossen erzeugt Regenbogenfarben. — Die Farben auf faulem Wasser, auf alten Fensterscheiben, auf Perlmutter.

L. Optische Erscheinungen in der Atmosphäre.

§ 105. 1) **Die blaue Farbe des Himmels.** Die Atmosphäre erscheint uns, wie schon früher angeführt, deshalb blau, weil sie nicht vollkommen durchsichtig ist und vorzugsweise das blaue Licht reflectirt. Sie ist ein blaues Gas. Die blaue Farbe des Himmels.

Wäre sie vollkommen durchsichtig, so hätten wir einen schwarzen Himmel und könnten die Sterne auch am Tage sehen. Auf hohen Bergen erscheint derselbe sehr dunkelblau, fast schwarz.

Durch die verdichteten Wasserdünste wird dies reine Blau des Himmels gebleicht.

Warum erscheint derselbe in den südlichen Gegenden tiefer blau, als bei uns? Warum im Winter meist bleicher, als im Sommer?

Morgen- und Abendröthe.

2) Die Morgen- und Abendröthe rührt von den in der Luft enthaltenen Wasserdünsten her, welche in einem gewissen Stadium des Ueberganges aus dem luftförmigen in den flüssigen Zustand die Eigenthümlichkeit haben, besonders die orangerothen Strahlen der Sonne durchzulassen.

Der aus einer Lokomotive ausströmende Dampf ist unmittelbar über dem Ventile vollkommen durchsichtig; in einiger Höhe darüber erscheint er, wenn die Sonne hindurchscheint, orangeroth, in noch größerer Entfernung bildet er undurchsichtige Wolken. (Durch weißes Milchglas gesehen, erscheint eine Lichtflamme ebenfalls roth.)

Die Dämmerung.

3) Die Morgen- und Abenddämmerung entsteht dadurch, daß die Sonne, bevor sie über unsern Horizont kommt, die Luft und die in ihr schwebenden Wasserdünste erleuchtet und diese das empfangene Licht zu uns reflectiren. Bei uns dauert die Dämmerung ungefähr so lange, als die Sonne sich weniger, als 18° unter dem Horizonte befindet.

In den Aequatorialgegenden dauert die Dämmerung sehr kurze Zeit. Im Sommer dauert sie bei uns die ganze Nacht hindurch. Warum?

Der Regenbogen.

4) Der Regenbogen. Einen Regenbogen sieht man, wenn man vor sich eine regnende Wolke, und hinter sich die Sonne hat. Er bildet einen Kreisbogen, dessen Mittelpunkt in der von dem Mittelpunkt der Sonne durch das Auge des Beobachters gezogenen geraden Linie liegt, also einen größeren oder kleineren Kreisbogen, je nachdem die Sonne höher oder niedriger steht. Einen Halbkreis bildet er, wenn die Sonne im Horizonte steht; der Radius desselben erscheint unter einem Winkel von 42½ Grad. Die Farben liegen von dem äußern nach dem innern Umfange in der Ordnung: roth, orange, gelb, grün, blau, violett. Ueber dem Hauptregenbogen befindet sich noch ein Nebenregenbogen, dessen Farben in umgekehrter Ordnung liegen.

Erklärung. Das Sonnenlicht muß, da der Regenbogen der Sonne gegenübersteht, eine Reflexion, und da es in Farben zerlegt ist, auch eine Refraction durch die Regentropfen erleiden.

Erklärung des Haupt-Regenbogens.

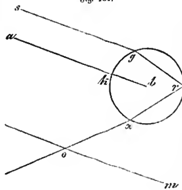


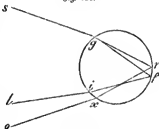
Fig. 131.

Ein Sonnenstrahl ab (Fig. 131) der den Mittelpunkt eines Regentropfens trifft, wird ungebrochen durchgehen. Ein anderer aber, welcher in einer gewissen Entfernung von diesem Strahle auffällt, etwa sg, wird beim Eintritt in den Tropfen gebrochen, an der Hinterseite reflectirt und beim Austritte nochmals gebrochen, so daß er den Weg sgrxo nimmt. Befindet sich nun in o das Auge, so wird es von diesem Tropfen Licht erhalten, welches reflectirt und gebrochen ist. Alle Strahlen, welche in derselben Entfernung vom Punkte k, also in einem Kreise auf den Tropfen

auffallen, werden in derselben Weise gebrochen und reflectirt, während diejenigen, welche näher an k auffallen, nur sehr schwach oder gar nicht reflectirt werden (weil sie die Hinterfläche des Tropfens nicht schief genug treffen). Es müssen also die Strahlen, welche von dem Tropfen zurückgeworfen werden, die Mantelfläche eines Kegels bilden. Was für den einen Tropfen gilt, gilt auch für alle übrigen. Das Auge wird nun von allen den Regentropfen Licht erhalten, in deren Strahlenmantelfläche es zu gleicher Zeit liegt, und das sind diejenigen, welche von der Linie ox getroffen werden, wenn sie sich so um die Linie om bewegt, daß sie mit dieser immer denselben Winkel xom bildet. (Dies läßt sich anschaulich machen, wenn man die Linien ox und om durch Drähte darstellt und an ox einen Hohlkegel von Pappe so befestigt, daß ox in der Mantelfläche desselben liegt.)

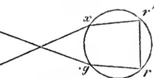
Hieraus ist klar, warum der Regenbogen einen Kreis bildet, dessen Mittelpunkt in om liegt, und zweitens warum er desto heller erscheint, je dicker die Tropfenschicht ist, welche die Wolke entsendet. Die Größe des Winkels xom hängt von dem Brechungsvermögen des Wassers ab, ist also immer gleich groß, nämlich $42\frac{1}{2}°$, und dies ist der Sehwinkel für den Radius des Regenbogens. ($\angle$ xom ist gleich dem Winkel, welchen die Verlängerungen von sg und ox bilden.) Da der Mittelpunkt des Regenbogens in om liegt, so sehen wir, wenn die Sonne im Horizont steht, einen Halbkreis, steht sie höher, einen kleinern Bogen, und steht sie höher als $42\frac{1}{2}°$ über dem Horizonte, so ist gar kein Regenbogen sichtbar.

Fig. 132.



Da das Licht bei der Brechung eine Farbenzerstreuung erleidet, so muß der Regenbogen farbig erscheinen. Bezeichnet nun (Fig. 132.) sgrxo den Weg des rothen Lichtes, so wird der violette Strahl, da er stärker gebrochen wird, etwa den Weg sgfil nehmen, der violette Theil des Regenbogens muß also, wie sich aus der Richtung von ox und li ergiebt, tiefer erscheinen, als der rothe, und zwischen ihnen müssen, nach der Stärke ihrer Brechbarkeit geordnet, die anderen Farben liegen.

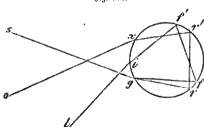
Fig. 133.



Erklärung des Neben-Regenbogens.

Von dem Nebenregenbogen nimmt man an, daß er durch eine zweimalige Reflexion im Innern der Regentropfen entstehe, so daß die Sonnenstrahlen den Weg (Fig. 133.) sgrr'xo nehmen. Aus der Richtung xo ergiebt sich, warum der Nebenregenbogen höher erscheinen muß, als der Hauptbogen. Bezeichnet nun (Fig. 134.) sgrr'xo den

Fig. 134.



Weg des rothen Strahles, so wird der violette etwa den Weg sgff'il nehmen. Aus der Richtung li ergiebt sich, warum das Violett im Nebenregenbogen oben oder vielmehr am äußern Umfange erscheint. (Von den Masten der Schiffe und von Berggipfeln soll man bisweilen den Regenbogen als vollständigen Kreis sehen.)

Mondhöfe. 5) Die Höfe um den Mond hält man für Interferenz-Erscheinungen, erzeugt durch die in der Luft schwebenden Eisnadeln.

Fünfter Abschnitt.

Die Wärme.

A. Von der Wärme im Allgemeinen.

Was ist Wärme? § 106. Wärme ist die unbekannte Ursache (Kraft), welche unter andern Wirkungen auch das Gefühl hervorbringt, welches wir Wärme nennen. Man gebraucht also für die Ursache und die Wirkung dasselbe Wort. Ueber das Wesen der Wärme muß im Allgemeinen dasselbe gesagt werden, was über das Licht gesagt worden ist. Da die meisten Nervenempfindungen dadurch hervorgebracht werden, daß etwas Körperliches die Nerven trifft und erschüttert, so ist man auch geneigt, die Erzeugung des Gefühls der Wärme einem Stoffe (Wärmestoffe) zuzuschreiben, welcher die Nerven berührt, obwohl der Wärme alle wesentliche Merkmale der Materie fehlen. Daher schreibt sich auch unser Sprachgebrauch, nach welchem wir von der Wärme immer wie von einem Stoffe sprechen, z. B. die Wärme strömt aus, die Wärme wird fortgeleitet und dergl.

Unter Kälte versteht man einen niedern Grad von Wärme.

Wodurch wird sie erzeugt? § 107. Wärme wird erzeugt durch das Sonnenlicht, durch Reiben, durch Druck, durch chemische Prozesse, zu denen auch das Verbrennen gehört, endlich durch Electricität, wie später gezeigt werden wird, mittelbar auch durch Magnetismus.

Im Winter reibt man die Hände, um sie zu erwärmen. Durch Reiben zweier Hölzer zünden die Wilden Feuer an. Die Wagenachsen müssen geschmiert werden. Mühlsteine, welche ohne Getreide umlaufen, entzünden das sie umgebende Holzwerk. Eiserne Werkzeuge, wie Bohrer, Hämmer, Sägen, Feilen u. s. w., werden im Gebrauche warm. Draht erwärmt sich durch öfteres Hin- und Her-

biegen. — Im pneumatischen Feuerzeuge (Fig. 1.) wird Schwamm entzündet. Durch Hämmern wird der Ambos warm. — Es entsteht Wärme, wenn man Schwefelsäure in Wasser, Wasser über ungelöschten Kalk gießt. — Der electrische Funke des Gewitters zündet Häuser an, schmilzt Glocken.

B. Wirkungen der Wärme.

§ 108. Die Wärme bringt zwei physikalische Wirkungen hervor:

1) Sie vergrößert das Volumen jedes Körpers, mag er fest, flüssig oder luftförmig sein. Die Wärme vergrößert das Volumen;

Eine Kugel, welche genau durch einen Ring geht, geht nicht mehr hindurch, wenn sie erwärmt wird. Die Eisenbahnschienen dürfen nicht so dicht an einander gelegt werden, daß ihre Enden sich berühren. Bei Zinkbedachungen muß den einzelnen Platten ebenfalls Spielraum gelassen werden. Warum werden die Fugen zwischen den einzelnen Kacheln eines Ofens mit der Zeit weiter, besonders wenn er stark geheizt wird? Ein Glas springt, wenn man plötzlich heißes Wasser hineingießt; dasselbe geschieht, wenn das Glas warm und das Wasser kalt ist; oder wenn man ein Glas auf den heißen Ofen setzt. Es springt desto leichter, je dicker der Boden ist. Durch allmähliches Erwärmen oder Erkalten kann man das Zerspringen verhüten. Steinplatten, die durch eiserne Klammern mit einander verbunden sind, bekommen im Winter an der Stelle, wo die Klammer eingelassen ist, oft Risse. Das Eis bekommt Spalten, wenn es kälter wird. Auf dem Flusse entstehen mehr Querrisse, als Längsrisse. Auf großen Eisflächen, z. B. auf großen Seen, stellt es sich, wenn nach anhaltender Kälte das Wetter wärmer wird, wie Kartenhäuser auf, und am Ufer schiebt es sich oft an 6 Fuß und mehr über dasselbe hinaus.

Füllt man eine enge Röhre mit Wasser, oder irgend einer andern Flüssigkeit, und erwärmt sie, so läuft diese über. Eine mit Wasser gefüllte Wärmflasche springt, wenn man sie zugeschraubt in den Ofen stellt. Eine schlaff zugebundene Blase bläht sich auf, wenn sie erwärmt wird.

Daß manche Körper, wie feuchtes Holz, feuchter Thon, Früchte u. dergl., in der Wärme an Volumen verlieren, rührt daher, daß die in ihnen befindliche Flüssigkeit verdunstet.

2) Sie verändert den Aggregatszustand der Körper. sie verändert den Aggregatszustand.

Gieb Beispiele.

Beide Wirkungen der Wärme stimmen darin überein, daß die Atome der Körper das Bestreben erhalten, sich von einander zu entfernen. Die Wärme wirkt also der Cohäsionskraft entgegen.

§ 109. Das Thermometer. Die Ausdehnung der Körper durch die Wärme hat man zur Construktion von Wärmemessern (Thermometer) benutzt. Der wichtigste ist das Quecksilber-Thermometer, welches auf folgende Weise construirt wird:

Construction des Thermometers, Eine ganz enge Glasröhre (Haarröhrchen), welche überall gleich weit und an dem einen Ende mit einer Kugel versehen ist, wird zum Theil mit Quecksilber gefüllt, die über demselben befindliche Luft herausgeschafft und die Röhre oben zugeschmolzen.

von Réaumur, Hierauf werden die Punkte bestimmt, wo das Quecksilber steht, wenn man die Röhre in thauendes Eis und in kochendes Wasser hält (Fundamentalpunkte), der Raum zwischen diesen beiden Punkten in 80 gleiche, und der Raum unter dem Thaupunkte in ebenso große Theile (Grade) getheilt. Auf den Thaupunkt setzt man die Zahl Null und zählt von da die Grade auf- und abwärts (Wärmegrade + und Kältegrade —). Ein so construirtes Thermometer ist ein Réaumur'sches, welches bei uns am gebräuchlichsten ist. Das Celsius'sche oder das Hunderttheilige, welches besonders in Frankreich und in der Gelehrtenwelt gebraucht wird, so wie das in England heimische Fahrenheit'sche, unterscheiden sich bloß durch die Scale von dem Réaumur'schen. Celsius. Beim Celsius'schen ist der Raum zwischen den Fundamentalpunkten anstatt in 80, in 100 gleiche Theile getheilt.

Fahrenheit. Fahrenheit hat anstatt des Thaupunktes einen andern Fundamentalpunkt, nämlich denjenigen, wo das Quecksilber in einer Mischung von Schnee und Salmiak steht (künstlicher Gefrierpunkt), und theilt den Raum zwischen diesem Punkte und dem Siedepunkte in 212 Grade, wodurch der Réaumur'sche Thaupunkt die Zahl 32, und der Raum zwischen dem Thau- und Siedepunkte 180 Grad erhält.

Wie untersucht man, ob eine Röhre überall gleich weit, also zum Thermometer tauglich ist? Warum muß die Röhre überall gleich weit sein? Warum nimmt man so enge Röhren? Warum muß auch die Kugel möglichst klein sein? Was heißt das: Ein Thermometer ist empfindlich? Warum darf sich über dem Quecksilber keine Luft befinden? Warum schmilzt man die Röhre zu? Wozu sind die Fundamentalpunkte nöthig, man könnte ja die beiden Endpunkte der Röhre als Grenzpunkte der Zählung annehmen? Warum nimmt man gerade thauendes und siedendes Wasser zur Bestimmung der Scale? Wie reducirt man den Celsius'schen und Fahrenheit'schen Thermometerstand auf den Reaumur'schen? Z. B. wie viel Grad Wärme zeigt das Reaumür'sche Thermometer, wenn das Celsius'sche auf 30° Wärme, oder wenn das Fahrenheit'sche auf 40° Wärme, oder auf 12° Wärme, oder auf 5° Kälte steht?

Das erste Thermometer construirte Drebbel in Holland 1630. Fahrenheit in Danzig und Reaumur in Frankreich bringen die Fundamentalpunkte an im Anfange des 18. Jahrhunderts.

Bestimmung der Größe der Ausdehnung. § 110. Ausdehnung der Körper. Die lineare Ausdehnung eines Körpers bestimmt man dadurch, daß man angiebt, den wie vielten Theil seiner Länge die Ausdehnung beträgt, und nennt die Zahl, welche angiebt, um den wie vielten Theil seiner Länge ein Körper sich ausgedehnt hat, wenn er von 0° bis 80° R. erwärmt wird, Ausdehnungs-Coëfficient.

Ist z. B. ein Körper bei 0° Wärme 125 Zoll lang, bei 80° 126 Zoll, so ist sein Ausdehnungs-Coëfficient $= \frac{1}{125}$.

Der Ausdehnungs-Coëfficient für die kubische Ausdehnung eines Körpers ist 3 mal so groß, als der für die lineare.

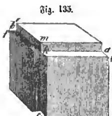


Fig. 135.

Denn akcb (Fig. 135.) sei ein Würfel, für dessen Kante der Ausdehnungs-Coëfficient $= \frac{1}{125}$, so daß etwa ck = 125″, und cm = 126″, so würde der Würfel in der Richtung ck um die Platte ea zunehmen, welche $= \frac{1}{125}$ des ganzen Würfels ist, wenn er sich nämlich bloß in dieser Richtung ausdehnte. Dehnt er sich nun in allen drei Richtungen ebenso aus, so nimmt er an Volumen um 3 solcher Platten zu, nämlich um die Platten ea, fc und ci und außerdem noch um die 3 Stücke, welche die Lücken bei bk, ak und ck ausfüllen. Diese 3 Stücke können aber ohne großen Fehler unberücksichtigt bleiben, weil die Ausdehnung fester Körper sehr gering ist.

1) Jeder feste Körper hat seinen ihm eigenthümlichen Ausdehnungs-Coëfficienten. Gesetze der Ausdehnung.

Denn da die Wärme der Cohäsionskraft entgegenwirkt, so hat sie bei der verschiedenen Festigkeit der Körper einen verschiedenen Widerstand zu überwinden.

2) Die festen Körper dehnen sich am wenigsten, die luftförmigen am meisten aus.

Aus demselben Grunde.

3) Fast alle festen Körper dehnen sich innerhalb der Grenzen 0° und 80° R. regelmäßig, d. h. proportional der Temperatur aus.

Z. B. von 0 bis 40° beträgt die Zunahme der Länge halb so viel, als von 0 bis 80°, von 0 bis 20° nur ¼, als von 0 bis 80°.

Aber bei höheren Temperaturen nimmt die Ausdehnung stärker zu.

Weil die Cohäsion geringer wird.

Bei flüssigen Körpern ist die Ausdehnung auch zwischen 0° und 80° R. unregelmäßig. Das Quecksilber macht hiervon eine Ausnahme.

4) Alle luftförmigen Körper dehnen sich gleich stark aus, und der Ausdehnungs-Coefficient bleibt für alle Temperaturen derselbe.

5) Die Kraft, mit welcher sich die Körper ausdehnen, ist gleich dem Widerstande, welchen sie einer Zusammendrückung entgegensetzen; und ebenso ist die Kraft, mit welcher sie sich beim Erkalten zusammenziehen, gleich dem Widerstande, welchen sie einer Kraft entgegensetzen, welche sie auszudehnen strebt.

Man kann hieraus auf die Größe der Ausdehnungs- und Zusammenziehungskraft bei Metallen schließen. Muß z. B., um einen Eisenstab einen Zoll zu verlängern, ein Gewicht von 15 Cntr. daran gehängt werden, so beträgt die Kraft, mit welcher er sich durch Erkaltung um einen Zoll zusammenzieht, 15 Cntr.

Ausdehnungs-Coefficient einiger Körper.

Lineare Ausdehnung einiger festen Körper bei einer Temperaturerhöhung von 0°—80° R.

Englisches Flintglas	$\frac{1}{1248}$	Kupfer	$\frac{1}{584}$
Platin	$\frac{1}{1167}$	Messing	$\frac{1}{535}$
Stahl	$\frac{1}{927}$	Silber	$\frac{1}{524}$
Weiches Eisen	$\frac{1}{819}$	Zinn	$\frac{1}{516}$
Gold	$\frac{1}{682}$	Blei	$\frac{1}{351}$

Der Ausdehnungs-Coefficient für die cubische Ausdehnung des Quecksilbers ist = 0,018, für die Ausdehnung der Luft = 0,3665 = $\frac{11}{30}$.

Destillirtes Wasser dehnt sich nicht bei jeder Temperatur-Erhöhung aus, zieht sich also auch nicht bei jeder Temperatur-Erniedrigung zusammen, sondern es hat bei etwas mehr als 3° R. seine größte Dichtigkeit.

Das Eis schwimmt auf dem Wasser, ist also weniger dicht, als dieses; — Gefäße, in denen Wasser gefriert, springen. Baumstämme platzen bei großer Kälte. Ebenso platzen Eier, wenn sie gefrieren.

Veränderung des Aggregatzustandes.

§ 111. Bei vielen festen Körpern kann durch die Wärme die Cohäsion der Theile aufgehoben und dann in Abstoßung verwandelt, d. h. sie können flüssig und luftförmig gemacht werden. — Gieb Beispiele. — Das Flüssigwerden nennt man Schmelzen, das Uebergehen in Luftform Sieden oder Kochen, und den entstandenen luftförmigen Körper Dampf.

Bei andern Körpern, besonders organischen, tritt bei Temperaturerhöhung eine Zersetzung ein.

— Gieb Beispiele. —

Das Schmelzen der festen Körper.

I. Beim Schmelzen fester Körper zeigen sich folgende Gesetze:

1) Jeder feste Körper wird nur bei einer bestimmten Temperatur flüssig und bleibt so lange fest, bis diese Temperatur eingetreten ist.

Verschiedene Körper haben verschiedene Schmelzpunkte, z. B.:

Gehämmertes engl. Eisen	1280° R.	Silber	800° R.
Weiches französ. Eisen	1200 „	Antimon	345 „
Stahl	1120—1040 „	Zink	288 „
Gußeisen	960—840 „	Blei	267 „
Gold	1000 „	Wismuth	205 „

Zinn	184° R.	Butter	20° R.
Schwefel	87 „	Eis	0 „
Weißes Wachs	54 „	Terpentinöl	— 8 „
Stearin	39 — 34 „	Quecksilber	— 31 „

2) So lange diese Umwandlung dauert, verändert sich die Temperatur nicht, wenn gleich noch immer Wärme zuströmt.

Man sagt deshalb: die Wärme wird gebunden — latente Wärme —.

Aber die Umwandlung geht desto schneller vor sich, je mehr Wärme zuströmt.

1 Pfd. Wasser von 68° Wärme und 1 Pfd. Schnee von 0° Grad geben eine Mischung von 0°; es sind also die 68° Wärme gebunden.

3) Viele Mischungen zweier Körper haben einen tiefern Schmelzpunkt, als jeder Körper einzeln.

Z. B. Schnee und Salz schmelzen bei — 8°. Ebenso hat eine Mischung von kohlensaurem Kali und kohlensaurem Natron oder eine Mischung von 8 Theilen Wismuth, 5 Th. Blei und 3 Th. Zinn einen tiefern Schmelzpunkt, als jeder dieser Körper.

II. Körper, welche durch Temperaturerhöhung flüssig geworden, werden durch Temperaturerniedrigung wieder fest, und zwar: Das Festwerden der flüssigen Körper.

1) Sie werden bei derselben Temperatur fest, bei welcher sie flüssig wurden.

2) Dabei wird die beim Flüssigwerden gebundene Wärme wieder frei.

Befindet sich in einer fest verschlossenen Röhre Wasser, über welchem die Luft durch Kochen ausgetrieben ist, so läßt sich dieses bis auf — 8° erkalten, ohne daß es gefriert. Sobald es aber eine Erschütterung erleidet, gefriert die ganze Wassermasse plötzlich, und ein in demselben befindliches Thermometer steigt auf 0°.

3) Beim Festwerden erhalten manche Körper verschiedene Eigenschaften, je nachdem sie schnell oder langsam erkalten.

Schwefel wird durch plötzliches Erkalten zu einer zähen, weichen, durch langsames Erkalten zu einer harten, spröden Masse. Glas und Eisen werden durch schnelles Abkühlen hart und spröde.

In der Regel krystallisiren die Körper beim langsamen Erkalten und nehmen ihre größte Dichtigkeit an.

§ 112. I. Bei dem durch Temperaturerhöhung bewirkten Uebergange der Körper aus dem flüssigen in den luftförmigen Zustand zeigen sich folgende Gesetze: Das Sieden der flüssigen Körper.

1) Jeder flüssige Körper wird nur bei einer bestimmten Temperatur luftförmig, vorausgesetzt, daß der Luftdruck derselbe bleibt.

Bei einem Luftdruck von 28 Pariser Zoll ist der Siedepunkt: von

Cyan . . .	ungefähr	— 14° R.	Terpentinöl .	ungefähr	+ 126° R.
Schwefelig. Säure	„	— 8 „	Schwefelsäure .	„	248 „
Schwefeläther	„	+ 30 „	Leinöl . . .	„	253 „
Schwefelkohlenstoff	„	38 „	Quecksilber . .	„	280 „
Alkohol . . .	„	64 „			

2) Der Siedepunkt ein und derselben Flüssigkeit liegt desto höher, je größer der Druck (Luftdruck) auf die Oberfläche ist.

Während das Wasser am Meeresspiegel, wo der Luftdruck ungefähr 28 Zoll beträgt, bei 80° R. kocht, kocht es auf dem Gipfel des Montblanc in einer Höhe von 15280 Fuß, wo der Luftdruck = 15½ Zoll ist, bei 67° R. — Bringt man Wasser von ungefähr 30° unter die Luftpumpe, so fängt es nach mehreren Kolbenzügen an zu kochen. — Bringt man Wasser in einem Ballon mit etwas langem Halse zum Kochen, verstopft dann die Oeffnung, kehrt den Ballon um und kühlt ihn oben mit einem nassen Schwamme ab, so fängt das Wasser von Neuem an zu kochen. —

Man kann also eine Flüssigkeit zum Kochen bringen, wenn man entweder die Temperatur erhöht, oder den Druck auf die Oberfläche vermindert. — Zu jedem bestimmten Drucke gehört eine bestimmte Temperatur, um die Flüssigkeit ins Kochen zu bringen.

3) So lange das Sieden dauert, ändert sich die Temperatur der Flüssigkeit nicht, so viel Wärme auch zuströmen mag — die Wärme wird gebunden — nur daß die Flüssigkeit sich desto schneller in Dampf verwandelt, je mehr Wärme zuströmt.

Sollen Speisen, wie Fleisch, Gemüse u. dgl., weich gekocht werden, so erreicht man diesen Zweck eben so schnell, wenn man sie nur so eben im Kochen erhält, als wenn man sehr stark feuert. — Da Fett und Butter einen viel höheren Siedepunkt haben, als Wasser, so werden die Speisen in ihnen viel eher weich, als in diesem. Auf hohen Bergen, z. B. auf dem St. Bernhard (7000 Fuß), soll man nicht im Stande sein, Rindfleisch weich zu kochen.

4) Der Siedepunkt der Flüssigkeiten ist ein anderer, wenn andere Körper chemisch mit ihnen verbunden sind.

Durch Beimischung von Salz wird der Siedepunkt des Wassers erhöht; er bleibt aber unverändert, wenn Körper bloß mechanisch beigemengt werden.

Der Leidenfrost'sche Tropfen.

Bringt man in ein glühendes Metallgefäß einige Tropfen einer Flüssigkeit, deren Siedepunkt sehr tief unter der Temperatur des Gefäßes liegt, so kommt dieselbe nicht zum Kochen, sondern rotirt darin in Kugelgestalt, an Masse nach und nach abnehmend. Sobald sich aber die Temperatur des Gefäßes bis zu einem gewissen Punkte erniedrigt

hat, verdampft der Rest der Flüssigkeit mit großer Heftigkeit. — Der Leidenfrost'sche Tropfen. —

Die Flüssigkeit bleibt desto länger flüssig, je tiefer ihr Siedepunkt unter der Temperatur des Gefäßes liegt.

Die Erscheinung hat vielleicht darin ihren Grund, daß sich zwischen der Flüssigkeit und dem Gefäße eine Dunstschicht bildet, wodurch erstens eine Menge Wärme gebunden, und zweitens eine genaue Berührung der Flüssigkeit mit dem Gefäße verhindert wird.

Die Erscheinung tritt z. B. ein, wenn man einige Tropfen Wasser in einen rothglühenden Platinalöffel bringt. Noch länger bleibt Aether flüssig. Besonders interessant ist folgende Erscheinung:

Von flüssiger schwefliger Säure, welche sich schon bei -8° R. in Dampf verwandelt, kann man eine ziemlich große Quantität in einen rothglühenden eisernen Löffel gießen, ohne daß sie verdampft. Gießt man dann Wasser hinzu, so verwandelt sich die Säure plötzlich in Dampf, und das Wasser gefriert.

Aus dem angeführten Gesetze lassen sich auch wohl öfter die Explosionen der Dampfkessel erklären, wenn sie nicht hinreichend mit Wasser gespeist werden. In flüssiges Blei und Eisen kann man die Hand tauchen, ohne sich zu verbrennen, wenn man sie mit Wasser oder, noch besser, mit Aether benetzt hat. Ueber so eben gegossenes, noch weißglühendes Eisen soll man mit bloßen Füßen gehen können, ohne sich zu verbrennen.

II. Die durch Temperaturerhöhung luftförmig gemachten Körper lassen sich durch Temperaturerniedrigung wieder flüssig machen. Das Flüssigwerden der Dämpfe.

1) Jeder Körper wird bei derselben Temperatur und demselben Drucke wieder flüssig, bei welchem er luftförmig wurde.

Die Dämpfe lassen sich demnach wieder in eine Flüssigkeit verwandeln, wenn bei gleichbleibendem Drucke die Temperatur vermindert, oder bei gleichbleibender Temperatur der Druck vergrößert wird. — Zu jeder bestimmten Temperatur gehört demnach ein bestimmter Druck, um die Körper wieder flüssig zu machen.

2) Es wird dabei die Wärme frei, welche bei der Verwandlung in den luftförmigen Zustand gebunden wurde.

Leitet man Dämpfe von 80° Wärme in ein Gefäß mit Wasser von 0°, so steigt dessen Temperatur auch bis auf 80°.

Auch mehrere Gase, nämlich Cyangas, Schwefelwasserstoffgas, schweflige Säure, Chlor, Ammoniak, Salzsäure, Kohlensäure und salpetrige Säure lassen sich durch großen Druck und Erkaltung flüssig machen. Daher vermuthet man, daß wohl auch die übrigen Gase dieser Umwandlung fähig sind, nur daß man noch nicht die gehörige Kälte und den gehörigen Druck hervorzubringen vermag. Ist diese Vermuthung richtig, so giebt es zwischen Dampf und Gas keinen Unterschied.

Durch Verwandlung der flüssigen Kohlensäure in Dampf ist man im Stande,

einen sehr hohen Grad von Kälte zu erzeugen. Thilorier brachte ein Weingeistthermometer bis auf auf —72° R., indem er einen Strom von Kohlensäuredampf darauf strömen ließ.

Mechanisches Verhalten der Dämpfe.

§ 113. Die Dämpfe verhalten sich in mechanischer Beziehung wie die Gase.

1) Sie sind expansiv.

Der auf einem Topfe mit kochendem Wasser liegende Deckel wird in die Höhe gehoben. Eine mit Wasser gefüllte Wärmflasche springt, wenn man sie unvorsichtiger Weise verschlossen in den Ofen gestellt hat. Dampfkessel explodiren bei zu starker Heizung.

2) Die Expansion der Dämpfe wird desto größer, je stärker die Dämpfe bei derselben Dichtigkeit erwärmt, oder je stärker sie bei derselben Temperatur durch Druck verdichtet werden.

Sie folgen dabei dem Mariotte'schen Gesetze. Aber die Expansion erreicht, wie aus § 112, II. 1. hervorgeht, bei der Verdichtung durch Druck eine Grenze, nämlich die Dämpfe werden wieder flüssig.

Anmerkung. Auch die in § 112 am Ende angeführten Gase haben diese Grenze. Die Dämpfe haben also auf dem Punkte, wo sie wieder in den flüssigen Zustand übergehen, das Maximum ihrer Dichtigkeit und also auch ihrer Tension (für die dabei stattfindende Temperatur).

Die in einem unverschlossenen Raume sich entwickelnden Dämpfe haben im Maximum ihrer Dichtigkeit gleiche Tension mit der Atmosphäre, d. h. sie halten einer eben so großen Quecksilbersäule das Gleichgewicht als diese.


Fig. 136.

Erhitzt man in der Glaskugel (Fig. 136.) Wasser bis zum Kochen, so wird durch die Dämpfe alle Luft aus der Röhre ausgetrieben, was nicht stattfinden würde, wenn die Dämpfe geringere Expansion hätten, als die Atmosphäre. Taucht man dann das offne Ende der Röhre in Quecksilber, so steigt das Quecksilber nicht eher darin in die Höhe, als bis die Dämpfe sich etwas abgekühlt haben.

Die Flüssigkeitstheilchen bleiben also so lange flüssig, bis die ihnen durch die Wärme ertheilte Abstoßungskraft die auf sie drückende Kraft überwindet.

Hieraus läßt sich erklären, warum das Wasser schon bei niederer Temperatur kocht, wenn der Luftdruck geringer ist. Ferner folgt hieraus, daß, wenn man in einem verschlossenem Raume die Flüssigkeit zum Kochen bringt, die Temperatur derselben nicht dieselbe bleibt, sondern immer steigt, und daß, wenn man die Temperatur unverändert erhält, das Kochen aufhört. — Im Papinschen Topfe lassen sich Knochen, Holz u. dgl. zerkochen.

3) Dämpfe verschiedener Flüssigkeiten haben bei gleicher Temperatur im Maximum ihrer Dichtigkeit verschiedene Tension.

Während Wasserdampf von 80° R. einer Quecksilbersäule von 28 Zoll das Gleichgewicht hält, hält Weingeistdampf von 80° einer 2,37 mal so hohen, und Schwefel-Aetherdampf einer 7,8 mal so hohen Quecksilbersäule das Gleichgewicht.

§ 114. Die Flüssigkeiten gehen nicht bloß bei der Siedetemperatur, sondern auch bei jeder anderen Temperatur in Luftform über. Dieses Uebergehen in Luftform bei niederen Temperaturen nennt man Verdunsten und den so entstandenen Körper Dunst. Das Verdunsten.

Feuchte Wäsche, der feuchte Erdboden wird trocken. Jede Flüssigkeit in unverschlossenen Gefäßen nimmt an Menge ab. In gescheuerten Stuben beschlagen die Fenster.

Dunst- und Dampfbildung unterscheiden sich nur in folgenden zwei Punkten von einander:

a. Die Dunstbildung geht bei jeder Temperatur und jedem Luftdrucke vor sich.

b. Die Dunstbildung findet nur an der Oberfläche, die Dampfbildung auch im Innern der Flüssigkeit statt.

Beim Verdunsten steigen keine Blasen auf.

Im Uebrigen stimmen Dunst- und Dampfbildung, so wie deren Produkte überein, nämlich:

1) Bei der Dunstbildung wird Wärme gebunden (aber nicht soviel, daß die Flüssigkeit während der Dunstbildung nicht wärmer werden könnte), und bei dem Uebergange des Dunstes in den flüssigen Zustand wird wieder Wärme frei. Bei der Dunstbildung wird Wärme gebunden.

Der aus dem Bade Steigende empfindet Kälte. Durch Wassersprengen wird die Stubentemperatur im Sommer etwas erniedrigt; die Wärme wird aber nachher desto drückender. In Spanien gießt man das Wasser in poröse Thongefäße, um es kühl zu erhalten. Ein Thermometer sinkt, wenn man die Kugel mit feiner Leinwand umwickelt, sie mit Wasser, oder noch besser, mit Schwefeläther befeuchtet und sie hin- und herschwenkt. Nach heißen Tagen ist es gegen Abend auf Wiesen viel kühler, als auf unbewachsenen Flächen. Die Sommerwärme ist um so drückender, je mehr Wasserdunst in der Luft ist. Im Winter sagt man wohl: „Es kann nicht schneien, weil es zu kalt ist.“ Aber es ist umgekehrt: Sobald es schneit, wird die Kälte milder.

2) Wenn die Dunstbildung im geschlossenen Raume vor sich geht, und die Temperatur unverändert bleibt, so erreicht sie eine Grenze, setzt sich aber wieder fort, sobald die Temperatur erhöht wird. Ein Raum vermag also desto mehr Dünste aufzunehmen, je wärmer der Dunst ist. Die Dunstbildung erreicht eine Grenze.

Hierbei ist es gleichgültig, ob der Raum über der Flüssigkeit luftleer oder mit Luft gefüllt ist.

In Fässern und Flaschen werden Flüssigkeiten Jahre lang aufbewahrt, ohne daß ihre Quantität merklich abnähme.

Erklärung. Hat die Dunstbildung ihre Grenze erreicht, so sagt man, der Dunst hat das Maximum seiner Dichtigkeit, und von dem mit Dunst erfüllten Raume, er ist gesättigt.

Expansion des Dunstes.

3) Der Dunst ist, wie der Dampf, expansiv.

Bringt man in die Torricelli'sche Leere einen Tropfen Wasser oder Schwefeläther, so sinkt das Quecksilber.

4) Die Expansion der Dämpfe verschiedener Flüssigkeiten ist verschieden groß.

In dem vorher erwähnten Versuche drücken die Wasserdünste das Quecksilber nur um einige Linien, die Aetherdämpfe fast um die Hälfte seiner Höhe herab.

Fig. 137.



5) Die Expansion läßt sich vergrößern, wenn man die Temperatur des Dunstes oder seine Dichtigkeit vergrößert. Dabei folgen sie dem Mariotte'schen Gesetze. Aber die Zusammendrückung und also auch die Tension erreichen eine Grenze; der Dunst wird nämlich wieder flüssig, wenn er das in der Erklärung unter Nr. 2. genannte Maximum seiner Dichtigkeit erreicht hat.

Füllt man eine Röhre von etwa 32 Zoll Länge mit Quecksilber, gießt obenauf einige Tropfen Schwefeläther und taucht sie umgekehrt in eine weitere mit Quecksilber gefüllte Röhre (Fig. 137.), so steigt der Aether in die Höhe, verwandelt sich in Dunst und drückt das Quecksilber unter den Barometerstand herab. Taucht man die Röhre allmählich tiefer ein, so wird, wenn der obere Raum nicht gesättigt war, die Quecksilbersäule niedriger, bleibt endlich auf einem Punkte stehen, und nun wird der Aetherdunst wieder nach und nach flüssig. Erwärmt man den Raum über dem Quecksilber mit der Hand, so wird letzteres mehr herabgedrückt.

Die Expansion eines Gemisches von Luft und Dunst oder Dampf ist gleich der Summe der Tensionen beider Körper.

Expansion des Wasserdampfes.

Spannkraft des Wasserdampfes von — 16° bis 80° R.

Grade.	Spannkraft in Zollen Schles.	Grade.	Spannkraft in Zollen Schles.	Grade.	Spannkraft in Zollen Schles.
— 16	0,050	20	0,877	56	8,705
— 12	0,071	24	1,164	60	10,833
— 8	0,100	28	1,535	64	13,379
— 4	0,139	32	2,013	68	16,405
0	0,192	36	2,612	72	19,961
+ 4	0,264	40	3,372	76	24,102
+ 8	0,360	44	4,320	80	28,880
+ 12	0,488	48	5,497		
+ 16	0,658	52	6,942		

Spannkraft der Dämpfe.

Expansion der Dämpfe einiger Flüssigkeiten.

Temperatur.	Weingeist.	Schwefelkohlenstoff.	Schwefeläther.
— 4		3,438	4,10
0	0,342	4,940	5,624
+ 8	0,684	7,296	9,006
16	1,330	11,020	14,364
24	2,356	16,074	21,850
32	4,218	22,572	32,490
40	7,182	31,464	1,6 Atmosph.
48	9,780	43,092	2,3 "
56	18,772	—	3,2 "
64	29,222	—	4,4 "
72	1,54 Atmosph.	—	5,9 "
80.	2,37 "	—	7,8 "
100	12,56 "	—	15. "
200	145,2 "	—	151. "

§ 115. Die Verdunstung geht desto schneller vor sich,

Beschleunigung der Verdunstung.

1) je größer die verdunstende Oberfläche ist (b. des vorigen Paragraphen).

Wasser auf den Boden gegossen, verdunstet schneller, als in einem Gefäße. — Nasse Wäsche breitet man aus und hängt sie auf die Leine.

2) Je weniger Dünste sich über der Flüssigkeit befinden (Nr. 2. des vorigen Paragraphen).

Bei trockener Luft trocknen gewaschene Stuben, Wäsche u. dgl. schneller, als bei feuchtem oder wohl gar nebligem Wetter. Das Trocknen derselben wird durch Luftzug befördert. — Heiße Speisen kühlt man ab, indem man über den Löffel hinwegbläst. Unter dem Recipienten der Luftpumpe kann man Wasser in einer Röhre dadurch zum Gefrieren bringen, daß man letztere mit Baumwolle umwickelt, diese mit Schwefeläther befeuchtet und den entstehenden Aetherdunst auspumpt. — Bei trockenem Winde werden die Blätter der Pflanzen welk.

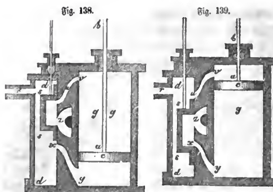
3) Je wärmer die Flüssigkeit und die sie umgebende Luft ist (Nr. 2 des vorigen Paragraphen).

Im Sonnenschein oder am warmen Ofen trocknet die Wäsche besser, als anderswo. — Wasser auf warme Steine gegossen, verdunstet schnell.

§ 116. Die Dampfmaschine hat im Wesentlichen folgende Einrichtung:

Die Dampfmaschine.

Aus dem Dampfkessel strömt der Dampf durch die Röhre r in den Kasten dd, und von da einmal durch die Röhre xy unter den Kolben c, und das andere Mal durch die Röhre uv über den Kolben, je nachdem das Schieberventil ss die in Fig. 138 oder die in Fig. 139 (s. umst. Figuren) angedeutete Stellung hat. Dadurch wird der Kolben c das erste Mal aufwärts, das andere Mal abwärts getrieben.



Beim Aufsteigen strömt der über dem Kolben befindliche Dampf durch die Röhre u v, beim Absteigen desselben der unter dem Kolben befindl. Dampf durch die Röhre y x in den Condensator Z. Die Stange a b setzt den Balancier, und dieser das Schwungrad in Bewegung. Zugleich wird durch den Balancier das Schieberventil auf- und abgezogen.

Maschinen mit niederem Drucke sind solche, in welchem die Spannkraft der Dämpfe gleich dem Drucke der Atmosphäre, mit hohem Drucke, in welchem die Spannkraft der Dämpfe gleich 3 — 6 Atmosphären ist.

Historisches. Hero in Alexandrien soll zuerst darauf gekommen sein, den Wasserdampf als bewegende Kraft anzuwenden. Er construirte eine Maschine, welche durch das Ausströmen des Dampfes, ähnlich wie das Segnersche Wasserrad, in Bewegung gesetzt wurde. Ein italienischer Mathematiker, Brancas, ließ den Dampf aus einer kleinen Oeffnung des Kessels auf die Schaufeln eines Rades strömen. Die große Gewalt aber, die man durch den Wasserdampf hervorzubringen vermag, zeigte zuerst Papin an seinem Digestor. 1687 construirte er einen Apparat, in welchem ein Kolben auf- und abbewegt wurde, indem unter dem Kolben Dampf einströmte und dann wieder verdichtet wurde. Die erste wirklich angewandte Dampfmaschine wurde im Jahre 1688 durch Savary construirt. Die vollkommeneren Maschinen, wie sie jetzt noch angewendet werden, verdanken wir Jacob Watt, der am Ende des vorigen Jahrhunderts (1763) die erste solche Maschine baute.

C. Verbreitung der Wärme.

Austausch der Wärme.

Werden Körper von verschiedener Temperatur mit einander in Berührung gebracht, so theilt der wärmere dem kälteren so lange Wärme mit, bis beide gleiche Temperatur haben, und zwar giebt der wärmere in einer bestimmten Zeit desto mehr Wärme ab, je größer der Temperaturunterschied beider Körper ist.

Setzt man ein kaltes Gefäß auf eine heiße Ofenplatte, so wird es warm, und zwar desto schneller, je heißer diese ist. — Die Stubenluft wird desto schneller bis zu einem gewissen Grade erwärmt, je heißer der Ofen ist.

Dabei zeigen sich folgende Gesetze:

Fortleitung der Wärme.

§ 117. Zuerst nehmen diejenigen Theile des kälteren Körpers, welche den wärmeren unmittelbar berühren, die Wärme auf; von diesen pflanzt dieselbe sich auf die nächstliegenden Theile fort u. s. w.

Ein Eisenstab in's Feuer gehalten, wird zuerst an dem Theile heiß, welcher unmittelbar mit der Flamme in Berührung steht, später kann man ihn an dem entgegengesetzten Ende nicht mehr in der bloßen Hand halten.

Erklärung. Diese Art der Verbreitung der Wärme nennt man Fortleitung.

Manche Körper nehmen die Wärme schneller auf, leiten sie schneller in ihren Theilen fort, und geben sie auch schneller wieder ab, als andere. Solche Körper nennt man gute Wärmeleiter. Gute, schlechte Wärmeleiter.

Ein eiserner Ofen wird schneller warm, aber auch schneller wieder kalt, als einer von Kacheln. — Ein an dem einen Ende brennendes Stück Holz kann man dicht hinter dem brennenden Theile mit der bloßen Hand halten, einen an dem einen Ende glühenden Eisenstab nur in größerer Entfernung.

Zu den besten Wärmeleitern gehören: die Metalle; zu den schlechtesten: Federn, Wolle, überhaupt thierische Haare. Der schlechteste Wärmeleiter ist die Luft; daher gehören auch wohl alle porösen Körper zu den schlechten Leitern. Welcher von zwei gleich warmen Körpern der bessere Wärmeleiter ist, läßt sich leicht durch das Gefühl entscheiden, indem der bessere Leiter der Hand wärmer erscheint, als der schlechtere, wenn beide Körper wärmer sind, als diese, kälter als der andere, wenn beide kälter als die Hand sind.

Betten, Pelze, wollene Kleider schützen uns gegen die Kälte. Warme Speisen in geschlossenen Gefäßen, in Betten, Pelz oder wollenes Zeug gehüllt, halten sich sehr lange warm. Eis würde aber auch auf dieselbe Weise vor dem Schmelzen geschützt. Im Sommer tragen wir leinene Kleider. Warum sind Pelze im Sommer unerträglich, obwohl sie die Wärme der Sonnenstrahlen am besten von uns abhalten würden? Metallene Gefäße werden mit Holzgriffen versehen. Die Steigbügel umwickelt man im Winter mit Stroh. Auf gedieltem Fußboden empfindet man weniger Kälte in den Füßen, als auf gepflastertem. Eiserne Gegenstände darf man bei strenger Kälte nicht mit feuchten Händen anfassen. Sind solche im Sommer lange den heißen Sonnenstrahlen ausgesetzt gewesen, so verbrennt man sich an ihnen. Beim Feueranzünden verlischt der brennende Span weniger leicht, wenn er auf ein Paar Holzstücke, als wenn er unmittelbar auf den Heerd gelegt wird. Eine glühende Kohle läßt sich in der bloßen Hand tragen, wenn man sie nicht zu lange auf einem Flecke liegen läßt, glühendes Eisen nicht. Der Schnee schützt die Saaten vor dem Erfrieren. Man zieht den Fuß in dem Stiefel ein wenig zurück, wenn man die Zehen erwärmen will. Doppelfenster schützen die Zimmer besser vor Kälte, als es einfache von doppelter Dicke thun würden. Zwei Hemden halten wärmer, als eines, welches so dick ist, als beide zusammen. Im Winter steht man auf einem mit Kies bestreuten Wege wärmer, als auf einem glatten. Legt man sich in einem ungeheizten Zimmer ins Bett, so erscheint dasselbe die ersten Augenblicke kälter, als die Luft des Zimmers.

Wasser gehört zu den schlechteren Wärmeleitern.

Setzt man einen Topf mit Wasser neben das Feuer, so kocht dieses oft an der Oberfläche, während es am Boden noch lau ist. Ebenso erkennt man die schlechte Leitungsfähigkeit aus der Länge der Zeit, die ein nur mäßig tiefes Wasser bedarf, um bis auf den Grund zu gefrieren. Dennoch läßt sich das Wasser und ebenso auch die Luft weit schneller erwärmen, als man nach der geringen Leitungsfähigkeit dieser Stoffe erwarten sollte, wenn die Wärme von unten zuströmt, z. B. wenn ein Topf Wasser auf die heiße Ofenplatte gesetzt wird. Warum? Cylinder-Oefen, das sind solche, durch welche von unten nach oben ein eiserner Cylinder geht, heizen die Stube schneller, als andere. Woher kommt das?

Wärmecapacität, specifische Wärme.

§ 118. Wärmecapacität. Specifische Wärme. Sind die beiden Körper, welche ihre Wärme austauschen, von gleicher Materie, und haben sie gleich viel Masse, so steigt die Temperatur des kältern um so viel Grad, als die des wärmeren fällt; sind aber die Körper von verschiedener Materie, so steigt die Temperatur des kälteren in einigen Fällen um mehr Grade, in andern um weniger, als die des wärmeren fällt. Z. B. ein Pfd. Wasser von 100° C und ein Pfd. Quecksilber von 78° geben eine Mischung von 99°, und umgekehrt: ein Pfund Quecksilber von 100° und ein Pfd. Wasser von 78° eine Mischung von 79°.

Dieselbe Wärmemenge also, welche ein Pfd. Wasser um einen Grad wärmer macht, vermag die Temperatur eines Pfundes Quecksilber um 21 Grad zu erhöhen. Dieselbe Quantität Wärme ist also im Wasser weniger bemerkbar, als im Quecksilber. Demjenigen Körper nun, in welchem eine gewisse Quantität Wärme weniger bemerkbar ist, als in einem andern, schreibt man eine größere Wärmecapacität zu, als diesem. Diejenige Wärmemenge, welche nöthig ist, um die Temperatur einer Gewichts-Einheit eines Körpers um einen Grad zu erhöhen, nennt man seine *specifische Wärme*.

Das Wasser hat hiernach eine 21 mal so große Wärmecapacität, als das Quecksilber. Die lockeren Körper haben im Allgemeinen eine größere Wärmecapacität, als die dichteren.

Hieraus läßt sich erklären, warum im pneumatischen Feuerzeuge durch Zusammendrückung der Luft Schwamm entzündet wird, warum die Luft in höhern Regionen kälter wird, warum Körper durch Hämmern warm werden. Auch steht wohl hiermit im Zusammenhange das Gebundenwerden der Wärme beim Uebergange der festen Körper in den flüssigen und der flüssigen in den luftförmigen Zustand und das Freiwerden derselben beim Uebergange der Körper aus dem luftförmigen in den flüssigen und aus dem flüssigen in den festen Zustand. Die Wärme verhält sich in dieser Beziehung wie ein wägbarer Stoff, sie scheint einen Raum einzunehmen. Sie zeigt dieselbe Erscheinung wie Wasser, welches, wenn es in einen porösen Körper einzieht, das Volumen desselben vergrößert, und wieder zum Vorschein kommt, wenn der Körper zusammengedrückt wird.

§ 119. Die Körper tauschen ihre Wärme nicht bloß bei Berührung, sondern auch aus jeder beliebigen Entfernung aus. Diese Art der Verbreitung nennt man Strahlung der Wärme. Strahlung der Wärme.

Die Sonne erwärmt unsere Erde aus einer Entfernung von 21 Millionen Meilen. Hält man die Hand gegen ein Kohlenfeuer oder einen heißen Ofen, so empfindet man nur auf der zugewandten Fläche Wärme; hält man dann plötzlich ein Blatt Papier zwischen die Hand und das Feuer, so hört augenblicklich die Wärme-Empfindung auf. Wendet man die Hand gegen ein Stück Eis, so empfindet man Kälte. Wird eine Stube nach anhaltend kaltem Wetter zum ersten Male geheizt, so hat man darin ein unbehagliches Gefühl von Kälte, wenn auch die Luft derselben bis zu einem hohen Grade erwärmt ist (weil der Körper Wärme gegen die kalten Wände ausstrahlt). Die Nacht ist bei wolkenlosem Himmel stets kälter, als bei bedecktem. — In einigen Gegenden zündet man im Frühjahr, wenn das Thermometer in heitern Nächten auf 0 Grad sinkt, in den Weinbergen oberhalb des Windes ein Rauchfeuer an, um durch die über die Weinstöcke hinziehenden Rauchwolken diese vor dem Erfrieren zu schützen. — Wenn bei Thauwetter der Himmel des Abends bald heiter, bald bedeckt ist, so sieht man den feuchten Erdboden abwechselnd gefrieren und wieder aufthauen. — Auf Wiesen, unter denen hier und da ein Baum steht, kommt im Frühjahr das Gras zuerst unter den Bäumen hervor.

Die strahlende Wärme folgt im allgemeinen denselben Gesetzen, als das Licht. Verbreitung der Wärmestrahlen.

1) Sie verbreitet sich von dem Körper aus

a. nach allen Seiten hin,

b. in geraden Linien (in demselben Mittel),

Ein Blatt Papier in gerader Richtung zwischen die Hand und eine glühende Kohle gehalten, hält die Wärme ab. Beim Schatten, den ein Gegenstand im Sonnenscheine wirft, ist die Lichtgrenze zugleich Wärmegrenze.

c. wahrscheinlich mit derselben Geschwindigkeit.

Die Sonnenstrahlen erzeugen beim Aufgange der Sonne zu gleicher Zeit Licht und Wärme.

2) Die Wärmestrahlen werden auf dieselbe Weise reflectirt, wie das Licht. Reflexion der Wärmestrahlen.

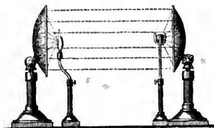
a. Von hellen, polirten Körpern am besten, von rauhen, dunkeln am schlechtesten; die rauhen, dunkeln Körper saugen die Wärme stärker ein und werden daher mehr und schneller erwärmt, sie strahlen die Wärme aber auch schneller wieder aus.

Ein Thermometer, dessen Kugel mit Ruß geschwärzt ist, steigt, wenn man es in den Sonnenschein hängt, schneller, als ein anderes. — Der Schnee schmilzt unter dunkelfarbigen Tuchläppchen schneller, als unter hellfarbigen. — Hängt man zwei würfelförmige, gleich große Blechgefäße, von deren einem man die

Außenseiten geschwärzt hat, an Schnüren auf, füllt sie mit kochendem Wasser und stellt in jedes ein Thermometer, so sinkt das Thermometer in demjenigen, dessen Außenseiten geschwärzt sind, schneller, als in dem andern. — Bestreut man den Schnee mit Sand oder Staub, so schmilzt er an dieser Stelle schneller als anderswo. — Glasirte Oefen halten sich länger warm als unglasirte. — In Porcellangefäßen wird Wasser langsamer warm, als in Töpfen, es behält darin aber auch seine Wärme länger, als in diesen. Im Sommer trägt man lieber hellfarbige Kleider, als dunkle. Warum werden die mit Wein oder Pfirsichen bepflanzten Wände oft geschwärzt?

b. Der Reflexionswinkel ist gleich dem Einfallswinkel.

Fig. 140.



Die Sonnenstrahlen werden durch einen Hohlspiegel in demselben Punkt concentrirt, in welchem die Lichtstrahlen vereinigt werden. — Eine glühende Kohle, oder eine Lichtflamme, in den Brennpunkt eines Hohlspiegels gestellt, erzeugt in dem Brennpunkte eines gegenüberstehenden Hohlspiegels einen hohen Grad von Wärme (Fig. 140.).

Brechung der Wärmestrahlen.

3) Die Wärmestrahlen folgen beim Durchgange durch durchsichtige Körper im Allgemeinen denselben Gesetzen, als die Lichtstrahlen.

a. Sie gehen durch alle die Körper hindurch, durch welche das Licht hindurchgeht.

Hinter den Fensterscheiben empfindet man die Wärme der Sonnenstrahlen und eines Feuers.

b. Sie werden durch das Prisma und durch die Convexlinse auf gleiche Weise von ihrem Wege abgelenkt, wie das Licht.

Ein empfindliches Thermometer steigt, wenn man es in das Spectrum des Prisma's hält. — In dem Punkte hinter der Convexlinse, in welchem die Lichtstrahlen vereinigt werden, lassen sich Körper entzünden.

Diathermanismus.

§ 120. Indessen folgen die Wärmestrahlen beim Durchgange durch andere Körper nicht ganz denselben Gesetzen, wie das Licht. Die in der folgenden Tabelle zusammengestellten Resultate von Versuchen zeigen nämlich, daß von zwei Körpern derjenige, welcher die Lichtstrahlen besser durchläßt (d. h. der durchsichtigere), nicht immer auch die Wärmestrahlen besser durchläßt.

Resultate einiger Beobachtungen.

Namen der Körper.	Locatelli'sche Lampe.	Glühende Platina-Spirale.	Geschwärztes, bis 400° erwärmtes Kupferblech.	Geschwärztes, bis 100° erwärmtes Messingblech.
Freie Strahlung der Wärmequelle . .	100	100	100	100
Steinsalz	92	92	92	92
Flußspath, klar, farblos	78	69	42	33
Kalkspath	39	28	6	0
Spiegelglas	39	24	6	0
Bergkrystall	38	28	6	0
Gyps, krystallisirt . .	14	5	0	0
Citronsäure	11	2	0	0
Alaun	9	2	0	0
Schwarzes Glas, ½ Linie dick	26	25	12	0
Schwarzer Glimmer .	20	20	9	0
Eis	6	0	0	0

Die Dicke der Platten betrug 1½ Linien.

Folgerungen aus jenen Resultaten.

Während also z. B. schwarzes Glas noch 26 Procent der von der Locatelli'schen Lampe ausgehenden Strahlung durchläßt, läßt der viel durchsichtigere Alaun nur 9 Procent davon durch.

Außerdem zeigt die Tabelle, daß die Wärmestrahlen aus verschiedenen Wärmequellen verschiedener Natur sind.

Denn ein und derselbe durchsichtige Körper läßt von verschiedenen Wärmequellen verschieden viel Wärmestrahlen durch.

Endlich sieht man, daß das Steinsalz sich zu den verschiedenen Wärmestrahlen verhält, wie ein farbloser durchsichtiger Körper zu den verschiedenfarbigen Lichtstrahlen.

Durch Steinsalz gehen die Wärmestrahlen aus allen Wärmequellen gleich gut durch, so wie z. B. durch farbloses Glas die Lichtstrahlen jeder Farbe durchgehen, während z. B. rothes Glas die grünen Lichtstrahlen fast gar nicht, die rothen Strahlen am besten durchläßt.

Erklärung. Diejenigen Körper, welche Wärmestrahlen durchlassen, heißen **diathermane**, diejenigen, welche keine durchlassen, **athermane** Körper.

Außerdem zeigt sich bei den Wärmestrahlen auch folgende merkwürdige Erscheinung:

Wärmestrahlen, welche durch eine Glasplatte gegangen sind, werden durch eine Alaunplatte gänzlich absorbirt, während letztere die Wärmestrahlen, welche durch Citronsäure gegangen sind, fast ganz durchläßt.

Die Wärmestrahlen werden also beim Durchgange durch diathermane Körper in ihrer Natur ähnlich verändert, wie das Licht, wenn es durch gefärbte Gläser geht. So veränderte Wärmestrahlen heißen diathermanisirte Strahlen. Das Steinsalz verhält sich also auch in dieser Beziehung zu den Wärmestrahlen, wie ein farbloser durchsichtiger Körper zum Lichte.

D. Thierische Wärme.

§ 121. Aus einer Reihe von Beobachtungen, welche John Davy an Menschen und Thieren angestellt hat, haben sich folgende merkwürdige Resultate ergeben:

Blutwärme d. Menschen, 1) Die Blutwärme war bei Kindern und Greisen, Gesunden und Kranken, bei solchen, die sich nur von Fleisch, wie bei solchen, die sich nur von Vegetabilien nähren, fast gleich. Sie schwankte zwischen 28,6° und 31,1° R. Bei ein und demselben Individuum änderte sie sich in verschiedenen Klimaten und Jahreszeiten noch nicht um einen Grad.

der Thiere. 2) Bei den Säugethieren schwankte die Blutwärme zwischen 29,7 und 32,5° R.

3) Bei den Vögeln zwischen 29,7° und 35,1° R.

4) Die Temperatur der warmblütigen Thiere ist von derjenigen des sie umgebenden Mittels unabhängig, die der kaltblütigen Thiere mit dieser fast gleich.

Es muß demnach der Organismus der warmblütigen Thiere, wenn die Temperatur der Umgebung geringer ist, Wärme erzeugen, im entgegengesetzten Falle Wärme abführen. Da nun dieselben Sauerstoff ein- und Kohlensäure ausathmen, so ist klar, daß der eingeathmete Sauerstoff sich mit dem Kohlenstoff des Körpers zu Kohlensäure verbindet, und dadurch so viel Wärme erzeugt, als wenn eine gleiche Quantität Kohlenstoff in der Luft verbrennt.

Hiernach ist erklärlich, warum der Nordländer mehr Speisen und namentlich mehr kohlenstoffhaltige zu sich nehmen muß, als der Südländer, warum wir im Winter mehr essen, als im Sommer, warum wir bei starker körperlicher Bewegung, wobei wir mehr Sauerstoff einathmen, als sonst, größere Wärme empfinden, warum wir durch jene Bewegung Appetit bekommen, und warum der Körper bei zu starker Bewegung abmagert.

Die Abkühlung des Körpers wird durch die Hautausdünstung bewerkstelligt.

Wird die Ausdünstung gehemmt, z. B. wenn wir Kleidungsstücke von luftdichtem Zeuge tragen (Gummischuhe), so empfindet man größere Wärme; ebenso, wenn bei warmem Wetter die Luft fast mit Dünsten gesättigt ist. Die Fieberhitze wird durch schweißtreibende Mittel gemildert.

E. Meterologische Erscheinungen.

§ 122. **Wärme auf der Erdoberfläche.** 1) Die Wärme auf der Oberfläche der Erde nimmt im Allgemeinen von dem Aequator nach den Polen hin ab. Abhängigkeit d. Temperatur von der geogr. Breite.

Jede Fläche am Aequator erhält mehr Sonnenstrahlen, als eine gleich große in der Nähe der Pole, und außerdem haben diese am Aequator eine geringere Luftmasse zu durchdringen, als an den Polen.

2) Während unter dem Aequator die Temperatur sich das ganze Jahr hindurch fast gleich bleibt, wird der Unterschied zwischen der Sommer- und Wintertemperatur nach den Polen hin immer größer.

Am Aequator sind Jahr aus Jahr ein die Tage gleich lang, je weiter nach den Polen, desto größer wird der Unterschied der Tageslängen und also auch der der Temperatur. So beträgt die höchste und niedrigste beobachtete Temperatur

in	Surinam	26°	+ 17°,
„	Cairo	32°	+ 7°,
„	Rom	30°	— 5°,
„	Paris	31°	— 18°,
„	Prag	28°	— 22°,
„	Moskau	25°	— 31°.

3) Orte, welche mitten in einer großen Länderstrecke liegen, haben kältere Winter und wärmere Sommer, als solche, welche in gleicher Breite und in der Nähe des Meeres liegen, oder wohl gar vom Meere umgeben sind. von der Beschaffenheit der Umgebung u. der Oberfläche.

Denn im Winter kühlt sich erstens das Meer langsamer ab, als das Land, weil die erkalteten Schichten nach unten sinken und wärmere an ihre Stelle treten; zweitens bei dem Niederschlagen der aufsteigenden Wasserdünste wird Wärme frei, und drittens die Meere der kalten Gegenden erhalten Zufluß aus den wärmeren Meeren. — Im Sommer erwärmt sich das Meer langsamer, als das Land, weil das Wasser ein schlechterer Wärmeleiter ist, und weil durch das Verdunsten des Wassers Wärme gebunden wird; endlich erhält auch das wärmere Meer Zufluß aus dem kälteren. Im nordöstlichen Irland gefriert im Winter kaum Eis, daher gedeiht die Myrte dort so kräftig, wie in Portugal; auf den Küsten von Devonshire überwintert die Camellia japonica.

4) Wälder und Gebirge machen das Klima eines Ortes rauher.

Die Bäume halten die Sonnenstrahlen vom Boden ab, und sie selbst werden nicht sehr erwärmt, weil sich ihre Blätter durch Entwicklung von Gas und Dunst kühl erhalten. Die Berge werfen Schatten.

5) Ein und derselbe Ort hat die größte Tageswärme einige Stunden (2—3) nach Mittag und die niedrigste kurz vor Sonnenaufgang, die größte Jahreswärme erst **nach** dem höchsten Sonnenstande (unsere Gegenden im Juli), die geringste erst **nach** dem niedrigsten Sonnenstande (im Januar). Maximum der Tages- und Jahreswärme.

Die Temperatur steigt, so lange der Ort mehr Wärme von der Sonne erhält, als er ausstrahlt, und fällt, sobald das Umgekehrte eintritt.

Temperatur d. Erdbodens.

§ 123. **Temperatur des Erdbodens.** 1) Die Temperatur des Erdbodens hängt in den obern Schichten im Allgemeinen von der Temperatur der Luft ab; dabei wird aber ein kahler, steiniger Boden durch die Sonnenstrahlen stärker erwärmt, als ein mit Pflanzenwuchs bedeckter; auch kühlt sich des Nachts letzterer stärker ab, als ersterer. Warum?

Die Hitze des Sandes in den afrikanischen Sandwüsten steigt oft bis auf 40—48°. — Die Temperatur des Grases sinkt des Nachts oft 5—8° unter die der Luft (wegen der stärkern Ausstrahlung und der Verdunstung).

2) Die Veränderungen in der Temperatur der Luft werden in dem Boden mit zunehmender Tiefe immer unmerklicher, z. B. in Deutschland sind die täglichen Temperaturveränderungen schon in einer Tiefe von 2 Fuß unmerklich, in einer Tiefe von 60—70 Fuß verschwinden auch die jährlichen, so daß hier die Temperatur Jahr aus Jahr ein unverändert bleibt.

Schon in unsern Kellern ist der Temperaturunterschied des Sommers und Winters geringer, als auf der Oberfläche des Bodens.

3) Die Tiefe, in welcher die Temperatur constant bleibt, hängt von der Leitungsfähigkeit des Bodens, und von dem Temperaturunterschiede der heißesten und kältesten Jahreszeit ab.

Die Tiefe der constanten Temperatur wird daher vom Aequator nach den Polen zu immer größer. In dem Keller des Observatoriums zu Paris hat sich seit 1671 die Temperatur nicht verändert.

4) Von da ab, wo die Temperatur constant ist, steigt sie mit zunehmender Tiefe, und zwar ungefähr mit je 130 Fuß um einen Grad.

Die größte Tiefe, bis zu der man bis jetzt gelangt ist, beträgt 2200 Fuß. Nimmt die Temperatur in demselben Verhältnisse zu, so müssen in einer Tiefe von 7 Meilen schon Eisen und Basalt, und in höchstens 37 Meilen Tiefe die meisten bekannten Felsarten flüssig sein.

Temperatur d. Gewässer.

§ 124. **Wärme der Gewässer.** 1) Die Temperatur der oberen Wasserschichten in den Landseen ist großen Veränderungen unterworfen. Während z. B. dieselben in den Schweizerseen im Sommer eine Temperatur 16—20° R. erreichen, gefrieren sie im Winter. Nach unten zu nimmt die Temperatur im Sommer ab; in großen Tiefen findet man nur eine Wärme von 4° R.

Soll im Winter die Oberfläche gefrieren, so muß erst die ganze Wassermasse bis auf $3\frac{1}{2}$° R. erniedrigt sein, bei welcher Temperatur das Wasser seine größte Dichtigkeit besitzt.

Sobald im Winter die obersten Schichten erkalten, sinken sie unter, und wärmere treten an ihre Stelle, bis die ganze Masse bis $3\frac{1}{2}$° R. erniedrigt ist, dann sinken die noch kälter werdenden Schichten nicht mehr unter. — Daher gefrieren seichte Gewässer eher zu, als tiefe. — Jedes Wasser belegt sich zuerst an

den seichten Stellen mit Eis. — Hätte das Wasser kein Dichtigkeits-Maximum, so würden die meisten Gewässer bis auf den Grund gefrieren.

2) Bei Flüssen werden diese Gesetze durch die Bewegung, bei den Meeren durch den Salzgehalt des Wassers modificirt. Das Grundeis der Flüsse soll auf dem Boden des Flußbettes entstehen, wahrscheinlich dadurch, daß derselbe Wärme durch das Wasser hindurch ausstrahlt.

3) In den Meeren der Tropen nimmt die Temperatur nach unten hin ab, in den Polar-Meeren zu. In der Tiefe der ersteren hat man eine Temperatur von ungefähr $2\frac{1}{2}^0$ R. gefunden, wahrscheinlich in Folge einer untern Strömung aus den Polargegenden nach dem Aequator zu und einer umgekehrten in den obern Schichten.

Im mittelländischen Meere ist die Temperatur in der Tiefe nicht so niedrig.

§ 125. Erwärmung der Luft und Störung ihres Gleichgewichts durch Verschiedenheit der Erwärmung. 1) Unmittelbar über dem von der Sonne beschienenen Boden ist die Lufttemperatur am höchsten; von da nimmt sie mit zunehmender Höhe ab, ungefähr mit 700 bis 800 Fuß um einen Grad; so daß man unter allen Breitegraden auf den hohen Gebirgen eine so niedere Temperatur erreicht, daß dort das ganze Jahr hindurch der Schnee liegen bleibt (Schneegrenze). Temperatur d. Atmosphäre.

Denn die Luft absorbirt nur wenig Wärmestrahlen; sie erhält ihre Wärme meist von dem erwärmten Boden durch Mittheilung, und außerdem hat die dünnere Luft größere Wärme-Capacität. Auf schmalen Bergrücken oder spitzen Berggipfeln ist die Temperatur niedriger, als auf gleich hohen Plateaux. — Die Schneegrenze hat in Amerika unter dem Aequator ungefähr eine Höhe von 15000 Fuß, in den Pyrenäen ($42\frac{1}{2}$ — 43° N. B.) eine Höhe von 8700, im Innern Norwegens (60 — 62° N. B.) 5000 Fuß.

2) Der Wind entsteht durch ungleiche Erwärmung der Luft, indem die warme Luft in die Höhe steigt, und kalte an ihre Stelle strömt. Entstehung d. Windes.

Oeffnet man in einem geheizten Zimmer ein Fenster oder eine Thür, so wird eine Lichtflamme oben nach außen, und unten nach innen geweht. — Dicht am geheizten Ofen fliegen leichte Federchen in die Höhe; ebenso Rauch, Staub im Cylinder einer Lampe. — In Schornsteinen findet ein starker Luftzug nach oben statt. — Gewitterwolken erzeugen Wind.

An den Küsten des Meeres weht des Morgens der Wind vom Meere nach dem Lande, des Abends vom Lande nach dem Meere, weil sich das Meer langsamer erwärmt, aber auch langsamer wieder abkühlt, als das Land. Zu beiden Seiten des Aequators, auf der nördlichen Halbkugel in einem Gürtel von 30°, auf der südlichen in einem Gürtel von ungefähr 25° Breite, weht das ganze Jahr hindurch ein regelmäßiger Wind, auf der Südseite ein Südost-, auf der Nordseite ein Nordostwind. Beide werden in der Nähe des Aequators zu einem Ostwind. — Passatwinde. — Zwischen diesen beiden Zonen auf der Nordseite des Aequators herrscht in einem Gürtel von 6° Breite Windstille, abwechselnd mit Gewitterstürmen. — Region der Calmen. — Passatwinde.

Die heiße Luft der Tropen steigt nämlich in die Höhe, und kalte strömt von den Polen zu. Da nun die Luft an der Achsendrehung der Erde Theil nimmt, so hat die von den Polen nach dem Aequator kommende Luft eine geringere Geschwindigkeit von West nach Ost, als die Erde selbst zwischen den Wendekreisen, und muß daher als Ostwind erscheinen. — Die Windstillen entstehen dadurch, daß der zu heftig aufsteigende Luftstrom den sanften Passatwind aufhebt. — Der letztere ist nur auf den Meeren in einer Entfernung von mehreren Meilen vom Lande in seiner Regelmäßigkeit bemerkbar. Warum? — Die aufsteigende Luft strömt in den oberen Regionen nach den Polen, es weht daher oben auf der Nordhälfte der Erde ein Südwest-, auf der Südhälfte ein Nordwest-Passat. 1835 wurde die von dem Vulcane von Cosiguina im Staate Guatimala ausgeworfene Asche durch den obern Passat nach Jamaica geführt, obgleich in den untern Regionen der Nordost-Passat herrschte. Nach den Polen hin senkt sich die sich immermehr abkühlende Luft des obern Stromes, und es entstehen nebeneinander hergehende Strömungen, die durch die Beschaffenheit der Erdoberfläche vielfach in ihrer Richtung geändert werden.

Messung der Luftfeuchtigkeit.


Fig. 141.

§ 126. **Feuchtigkeit der Luft.** Da das Wasser bei jeder Temperatur verdunstet, so muß die Atmosphäre stets Wasserdampf enthalten. Sie vermag aber nur eine gewisse Menge aufzunehmen, die sich nach ihrer Temperatur richtet (s. § 114); sie erreicht einen Sättigungspunkt. Wie weit die Luft von diesem Sättigungspunkte entfernt ist, erfährt man durch das Daniell'sche Hygrometer (Fig. 141.).

Dasselbe besteht aus zwei Kugeln, welche durch eine zweimal rechtwinklig gebogene Röhre in Verbindung stehen, und von denen die eine mit feiner Leinwand umwickelt und zur Hälfte mit Aether gefüllt ist, in welchem ein Thermometer steht. Die andere ist mit einer Goldzone versehen. Wird nun die Leinwand mit Aether befeuchtet, bis sich die Goldzone mit Thau beschlägt, so zeigt das innere Thermometer, bis zu welcher Temperatur die Luft erniedrigt werden müßte, damit sie durch den in ihr enthaltenen Wasserdampf gesättigt wäre.


Fig. 142.

Die Erfindung dieses Instruments fällt in das Jahr 1819.

Dasselbe erfährt man durch August's Psychrometer (Fig. 142.). Es besteht aus zwei Thermometern. Die Kugel des einen ist mit feiner Leinwand umwickelt. Wird diese mit Wasser befeuchtet, so sinkt es bei hinreichendem Luftzuge bis zu dem Grade, bei welchem die Luft durch den in ihr enthaltenen Wasserdampf gesättigt wäre.

Wir nennen die Luft sehr feucht, wenn sie ihrem Sättigungspunkte sehr nahe ist. Bei ein und demselben Wasserge-

halte kann uns daher die Luft einmal sehr feucht und ein andermal sehr trocken erscheinen. Warum? — Wenn im Herbst die Wäsche im Freien nicht trocknen will, so trocknet sie doch in der geheizten Stube. — Woher rührt das Beschlagen der Fenster oder kalter Gegenstände, wenn letztere in die warme Stube gebracht werden? —

§ 127. Aus dem in der Atmosphäre enthaltenen Wasserdunste entstehen: Nebel, Wolken, Regen, Schnee, Schloßen, Hagel, Thau, Reif. Producte des atmosphär. Dunstes:

1) Nebel entsteht, wenn durch Erkaltung die Luft ihren Sättigungspunkt erreicht; dann verdichtet sich der Dunst zu Wasserbläschen. Wolken unterscheiden sich vom Nebel nur durch ihre größere Entfernung von der Erde. Der Nebel, die Wolken,

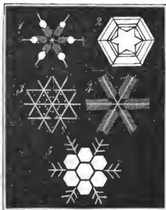
Der von kochendem Wasser aufsteigende Dampf ist Nebel. — Des Abends zeigt sich Nebel über Teichen und feuchten Wiesen. Warum ist der Nebel im Herbst und Winter häufiger als im Sommer? Im Sommer verwandelt sich oft der blaue Himmel plötzlich in grauen Regenhimmel, ohne daß man hat Wolken heranziehen sehen. Umgekehrt: Hat eine Gegend lange Zeit hindurch trockne, heiße Witterung gehabt, so verschwinden oft die heranziehenden Wolken über der Gegend.

2) Der Regen entsteht, wenn sich die Dunstbläschen des Nebels zu Tropfen vereinigen, welche dann herabfallen. der Regen,

Die Entstehung der Dunstbläschen, ihr Ansammeln zu Tropfen, und endlich deren Herabfallen kann man an den Fensterscheiben einer geheizten Stube beobachten. — Warum fällt der Regen in kleinen Tropfen, wenn die Wolken der Erde so nahe sind, daß sie als Nebel erscheinen, und in größeren, wenn sie höher stehen? — Warum sind namentlich die ersten Tropfen eines Gewitterregens so groß?

3) Schnee entsteht, wenn der Niederschlag des Wasserdunstes bei einer Temperatur unter Null erfolgt. Die Wassertheilchen schießen dann zu sechsseitigen Krystallen zusammen (Fig. 143.). der Schnee,

Fig. 143.



Bei ruhigem, mildem Wetter fallen große Flocken, bei stürmischem oder sehr kaltem kleine; warum? An den eisernen Fensterstäben der Keller, der Ställe u. dgl. entsteht Schnee, ebenso an den Fensterscheiben; bei nebligem Wetter an den Zweigen der Bäume. Bisweilen fällt gefrorener Regen, kleine durchsichtige Eiskügelchen, gewöhnlich, wenn nach strenger Kälte die Witterung mild wird. Wie läßt sich das erklären? Warum wird die Temperatur in der Regel etwas milder, wenn es anfängt zu schneien?

die Schloßen. 4) Schloßen, Graupeln sind Kügelchen aus zusammengeballtem Schnee. Sie entstehen gewöhnlich, wenn die Temperatur nicht viel unter Null ist, bei windigem Wetter (besonders häufig im März und April).

der Hagel. 5) Hagel sind durchsichtige, scharfkantige Eisstücke mit einem undurchsichtigen Kerne, die bisweilen die Größe eines Taubeneies und darüber haben. Ueber die Entstehung desselben ist man noch im Unklaren. Das ist gewiß, daß sie nur nach und nach durch Niederschlag bis zu dieser Größe anwachsen können; aber man weiß nicht, woher die große Kälte, die zur Bildung eines so großen Eisstückes erforderlich ist, und wie es möglich ist, daß Stücke Eis so lange Zeit in der Luft erhalten werden können, bis sie zu dieser Größe anwachsen. Da Hagel nur bei Gewittern fällt, so ist ohne Zweifel bei der Bildung desselben die Electricität im Spiele.

der Thau. 6) Thau entsteht, wenn bei hellen, windstillen Nächten durch Wärmeausstrahlung des Bodens die unmittelbar über dem Boden befindliche Luft unter den Sättigungspunkt abgekühlt wird. Anstatt des Thau's entsteht Reif, wenn die Temperatur unter Null ist.

Warum entsteht kein Thau und Reif, wenn der Himmel bedeckt ist, oder wenn Wind weht? Warum entsteht unter Tischen und Bänken, die im Freien stehen, wenig oder gar kein Thau? Warum bildet sich mehr Thau am Grase, als auf dem kahlen Boden?

Sechster Abschnitt.

Magnetismus, Electricität, Galvanismus.

A. Magnetismus.

Allgemeine Gesetze des Magnetismus.

Was ist ein Magnet? § 128. Es finden sich in der Erde eisenhaltige Steine, welche die Eigenschaft haben, Eisen anzuziehen. Man nennt sie **Magnete**, **Magnetsteine**, **natürliche Magnete**. Sie bestehen aus Eisenoxydul-Oxyd. Auch Eisenstäben kann die magnetische Kraft ertheilt werden; sie heißen **künstliche Magnete**.

Schon Plato und Pythagoras erwähnen die magnetische Kraft.

§ 129. 1) Die magnetische Kraft wirkt durch andere zwischen den Magneten und das Eisen gehaltene Körper hindurch. Wirksamkeit des Magneten.

Hängt man eine Stricknadel an einem Faden so auf, daß sie horizontal schwebt und man nähert dem einen Ende derselben seitwärts einen Magneten, so dreht sich dasselbe nach diesem hin, auch wenn man ein Brett, ein Buch, eine Glasscheibe oder auch die Hand dazwischen hält.

2) In jedem Magnete finden sich zwei Stellen, in welchen das Eisen am stärksten, und zwischen diesen eine, in welcher es gar nicht angezogen wird. Jene beiden ersten heißen **Pole**, letztere **Indifferenzstelle**.

Man erkennt die Abnahme der Anziehungsstärke nach der Indifferenzstelle zu, wenn man den Magneten in Eisenfeilspäne legt (Fig. 144.), oder indem man verschieden schwere Schlüssel, welche der Magnet an den Polen trägt, nach der Indifferenzstelle hinschiebt.

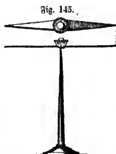
Fig. 144.



§ 130. Giebt man einem Magneten freie Bewegung, so stellt er sich immer so, daß der eine Pol, und zwar stets derselbe, nach Norden, der andere nach Süden gerichtet ist. Ersterer heißt **Nordpol**, letzterer **Südpol**. Richtung des beweglichen Magneten.

Freie Bewegung giebt man dem Magneten meist dadurch, daß man ihn in der Mitte mit einem Agathütchen versieht und dieses auf eine feine Spitze stellt. Eine solche Vorrichtung heißt **Magnetnadel** (Fig. 145.).

Fig. 145.



Die Magnetnadel wurde 1300 in Europa bekannt.

§ 131. 1) Gleichnamige Pole stoßen sich ab, ungleichnamige ziehen sich an. (Gesetz der Polarität.) Wirkung zweier Magnete auf einander.

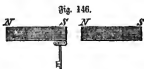
Es giebt also in jedem Magneten zwei verschiedene magnetische Kräfte.

2) Hält man die entgegengesetzten Pole zweier gleich starken Magnete an einander, so zeigen sie nach außen keine Wirkung; entfernt man sie wieder von einander, so haben sie wieder ihre volle Kraft.

Entgegengesetzte Magnetismen binden einander.

Hängt man an den einen Pol eines Magneten (Fig. 146.) ein Stück Eisen, z. B. einen Schlüssel, und man nähert diesem Pole den entgegesetzten eines gleich starken Magneten, so fällt der Schlüssel ab.

Fig. 146.



3) Zwei gleich starke Magnete, mit den gleichnamigen Polen zusammengehalten, heben ihre Wirkung auf, sie vernichten sich. Ist der eine stärker, als der andere, so wird der schwächere erst aufgehoben und dann umgekehrt, der Magnetismus des stärkeren aber geschwächt.

Wirkung des Magneten auf Eisen.

§ 132. 1) Jeder magnetische Pol macht Eisen zum Magneten, ohne daß er seine eigene Kraft verliert, und zwar erhält der ihm zugewandte Theil den entgegengesetzten, der abgewandte den gleichnamigen Magnetismus. (Gesetz der Vertheilung.)

Hängt man an den einen Pol eines Magneten ein Stück weiches Eisen, so zeigt es die Eigenschaften eines Magneten, z. B. es zieht Eisenfeile an. (Fig. 147.) Nimmt man anstatt des weichen Eisens eine Nähnadel, so hat nach dem Versuche das dem Pole zugewandte Ende derselben den entgegengesetzten, das abgewandte den gleichnamigen Magnetismus.

Fig. 147.



Fig. 148.



Legt man über einen Magneten ein Blatt Papier, streut Eisenfeile darauf, und klopft es ein wenig, so ordnen sich die Eisenfeilspähne zu einer eigenthümlichen Figur. (Fig. 148.)

2) Je weicher das Eisen ist, desto leichter nimmt es den Magnetismus auf, verliert ihn aber auch desto leichter; und zwar wird das ganz weiche Eisen schon in einiger Entfernung vom magnetischen Pole zum Magneten, verliert aber auch gleich wieder den Magnetismus, sobald es von dem Magneten entfernt wird, während hartes Eisen oder Stahl nur durch Berührung oder Bestreichen mit einem Pole zum Magneten wird, dann aber auch Magnet bleibt.

Die Fähigkeit, den Magnetismus zu behalten, nennt man Coërcitivkraft.

§ 133. Auf dem Gesetze der Vertheilung beruht:

Erzeugung künstlicher Magnete.

1) Die Erzeugung künstlicher Magnete.

Man wendet dazu hauptsächlich zwei Methoden an, die des „getrennten Striches" und die des „Doppelstriches." Ersterer besteht darin,

daß man einen Stahlstab (am besten angelassenen, nicht glasharten) mit zwei entgegengesetzen Polen von der Mitte aus in entgegengesetzter Richtung streicht, letzterer darin, daß man mit beiden Polen von der Mitte aus zugleich nach dem einen und von da nach dem andern Ende des Stabes streicht und sie zuletzt in der Mitte desselben abhebt.

Die Stärke des erzeugten Magneten hängt ab:

a. von der Stärke des erzeugenden Magneten;
b. von der Quantität, und
c. von der Qualität der Stahlmasse des Stabes.

Auch durch Erschütterung, durch Rosten oder auch bloß durch senkrechte Stellung wird Eisen magnetisch.

Stählerne Werkzeuge, z. B. Sägen, Feilen, werden durch den Gebrauch magnetisch, ebenso die Eisenbahnschienen, die Stäbe in eisernen Gittern.

2) Die Conservirung der Magnete.

Die Kraft eines Magneten wird dadurch erhalten und gestärkt, daß man ihn beschäftigt, d. h. daß man an jedem Pole einen entgegengesetzten anbringt, was auch durch bloßes Anlegen von weichem Eisen geschieht. Conservirung der Magnete.

Anker, Armatur, magnetische Magazine.

Durch Erwärmung wird die magnetische Kraft geschwächt; durch Rothglühhitze vollständig vernichtet; durch Feuchtigkeit und Erschütterung wird sie ebenfalls vermindert.

§ 134. Wird ein Magnet in der Indifferenzstelle oder auch anderswo in zwei Theile zerbrochen, so sind diese vollständige, fast ebenso starke Magnete, als der ursprüngliche war, deren Pole in derselben Richtung liegen, wie sie in dem ganzen Magneten lagen. Jedes Massentheilchen eines Magneten ist ein Magnet.

Daraus schließt man, daß alle Massentheilchen eines Magneten für sich vollständige Magnete sind, deren Pole nach den gleichnamigen Pol-Enden des ganzen Magneten hin liegen.

§ 135. Die Wirkung der magnetischen Kraft nimmt (wie bei allen von einem Punkte ausgehenden Kräften) ab, wie das Quadrat der Entfernung zunimmt. Stärke der magnetischen Kraft in verschiedenen Entfernungen.

Bringt man eine frei schwebende Magnetnadel aus ihrer gewöhnlichen Richtung, so macht sie Pendelschwingungen, aus deren Menge man, wie bekannt, die Größe der Kraft berechnen kann, mit welcher sie in ihre ursprüngliche Lage zurückgezogen wird. Nähert man dann dem einen Pole derselben den entgegengesetzten eines Magneten, so, daß dieser Pol in der Richtung liegt, welche die ruhende Magnetnadel hat, und läßt sie jetzt schwingen, so ist die Schwingungszeit kürzer, und aus ihr kann man wieder die Stärke der Anziehungskraft berechnen. Diese ist aber gleich der Summe der vorhin berechneten Kraft und der Anziehungskraft des genäherten Magneten, aus der sich dann die letztere finden läßt.

Erdmagnetismus.

Die Erde wirkt wie ein Magnet.

§ 136. Die Magnetnadel stellt sich, wie schon in § 130 angegeben ist, stets in dieselbe Richtung, nämlich mit dem einen Pole nach Norden zu; und eine Magnetnadel, die in der Gegend des Aequators horizontal steht, neigt sich, wenn man sich nördlich vom Aequator entfernt, mit dem Nordpole, wenn man sich südlich entfernt, mit dem Südpole der Erde zu, und zwar desto mehr, je mehr man sich den Polen der Erde nähert. Ganz ähnliche Erscheinungen zeigen sich, wenn man unter eine Magnetnadel in horizontaler Richtung einen andern, etwas langen Magneten hält: die Nadel stellt sich in die Richtung des Magneten und neigt sich bald mit dem einen, bald mit dem andern Ende dem Magneten zu, je nachdem man sie von der Indifferenzstelle nach diesem oder jenem Pole hinführt, während sie in der Mitte über ihm horizontal steht. Daher schließt man aus jenen Erscheinungen, daß die Erde selbst ein Magnet sei, dessen Südpol im Norden, und dessen Nordpol im Süden liegt. Und diese Ansicht wird dadurch bestätigt, daß ein Stab von weichem Eisen, in der Richtung der Magnetnadel und mit dem einen Ende nach unten gehalten, magnetisch wird, und zwar so, daß auf der nördlichen Halbkugel das nach unten gehaltene Ende Nord-, auf der südlichen Südmagnetismus erhält.

Declination.

§ 137. Die Magnetnadel zeigt aber an den meisten Orten der Erde nicht genau nach Norden, d. h. ihre Richtung fällt nicht mit der astronomischen Nordlinie zusammen, sondern bildet mit dieser einen Winkel. Diesen Winkel nennt man Declination, und zwar östliche oder westliche Declination, je nachdem der Nordpol der Nadel östlich oder westlich von der Nordlinie steht. Die Ebene, welche durch die Richtung der Magnetnadel und den Mittelpunkt der Erde geht, heißt magnetischer Meridian. Man kann daher auch sagen: Declination ist der Winkel, den der magnetische Meridian mit dem astronomischen bildet.

Aus dem Gesagten folgt, daß die magnetische Achse der Erde und ihre magnetischen Pole nicht in der astronomischen Achse und den astronomischen Polen liegen.

Linie ohne Abweichung; isogonische Linien.

§ 138. Die Punkte der Erdoberfläche, in welchen der magnetische Meridian mit dem astronomischen zusammenfällt, bilden eine ganz unregelmäßige Linie, welche aus dem Nordpolareis herabkommend, durch's weiße Meer, Rußland, den Caspisee geht, sich dann um Vorder-Indien herumzieht, Hinter-Indien schneidet und bis zur nordsibirischen Küste läuft, von wo sie zwischen Kamschatka und Japan hindurch wieder nach Hinter-Indien zurückkehrt, das indische Meer und Australien schneidet und endlich im südlichen Polareise verschwindet.

Daraus geht hervor, daß die magnetische Achse die astronomische Achse auch nicht einmal schneidet (denn sonst müßten die Orte ohne

Declination in ein und demselben astronomischen Meridian liegen), daß überhaupt die Erde kein einfacher Magnet sei.

Da die Kenntniß der Declination sowohl für die Wissenschaft, als auch für die Schifffahrt von Wichtigkeit ist, so hat man Karten entworfen, auf denen die Orte, welche gleiche Declination haben, durch Linien angedeutet sind. Diese heißen isogonische Linien.

Wie lange die Declination der Magnetnadel bekannt ist, ist unbestimmt, aber schon im 13. Jahrhundert finden sich Andeutungen derselben. Die ersten Karten für die Declination wurden von Halley am Ende des 17. Jahrhunderts (1683) entworfen; die vollständigsten von Hansteen 1819.

§ 139. Die Abweichung eines frei schwebenden Magneten von der horizontalen Richtung heißt Inclination und wird vermittelst einer Magnetnadel, welche sich um eine horizontale Achse dreht (Inclinationsnadel), beobachtet. (Fig. 149.) Die Inclination ist, wie die Declination, an verschiedenen Orten der Erde verschieden. In der Gegend des Aequators zieht sich um die Erde eine unregelmäßige, den Aequator zweimal schneidende Linie, in deren Punkten die Inclinationsnadel horizontal steht. Sie heißt magnetischer Aequator. Je mehr man sich von diesem nach Süden oder Norden entfernt, desto mehr nimmt die Inclination im Allgemeinen zu, in hohen Breiten ist sie so bedeutend, daß der Compaß unbrauchbar wird. Capitän Roß fand 1831 in der Nähe von Boothialand 80° westlicher Länge und 70° nördlicher Breite die Inclination = 90°. Er befand sich also über dem einen magnetischen Pole der Erde. Ein anderer Pol scheint südlich von Australien unter 150° östlicher Länge und 80° südlicher Breite zu liegen.

Inclination; isoclinische Linien.

Fig. 149.



Die Linien, welche die Orte von gleicher Inclination mit einander verbinden, heißen isoclinische Linien.

Die Entdeckung der Inclination wird gewöhnlich einem Engländer Robert Normann zugeschrieben, der 1576 ein Inclinatorium construirte. Aber schon 33 Jahre früher kannte Georg Hartmann, Vicar zu Nürnberg, die Inclination. Ihm verdanken wir auch die Entdeckung des Gesetzes, daß sich gleichnamige Pole abstoßen und ungleichnamige anziehen.

§ 140. Die Declination, sowie Inclination ändern sich mit der Zeit, so war zu Paris die Declination:

Säculare Variationen der Declination und Inclination.

Im	Jahre	1580	11°	30′	östlich.	Im	Jahre	1814	22°	34′	westl.
"	"	1618	8°		"	"	"	1816	22°	25′	"
"	"	1663	0°		"	"	"	1825	22°	22′	"
"	"	1700	8°	10′	westl.	"	"	1828	22°	5′	"
"	"	1780	19°	55′	"	"	"	1832	22°	3′	"
"	"	1805	22°	5′	"	"	"	1835	22°	4′	"

Die Inclination war zu Paris:

Im Jahre 1671	75°	Im Jahre 1820	68° 20′
„ „ 1780	71° 48′	„ „ 1825	68° 0′
„ „ 1806	69° 12′	„ „ 1831	67° 40′
„ „ 1814	68° 36′	„ „ 1835	67° 24′

Diese Veränderungen heißen säculare Variationen, im Gegensatz zu denen, welche im Laufe jedes Tages stattfinden und die man tägliche Variationen nennt. In Paris z. B. sind diese Veränderungen folgender Art: Mit Sonnenaufgang fängt die Nadel an, sich mit dem Nordende nach Westen zu bewegen, und erreicht gegen 5 Uhr Nachmittags den westlichsten Stand; von da geht sie bis 9, 10 oder 11 Uhr des Abends zurück nach Osten und bleibt die Nacht über stationär.

Tägliche Variationen der Declination.

Die Größe dieser Schwingungen ist in den verschiedenen Jahreszeiten verschieden. Ihr Mittelwerth ist vom April bis September 13 — 15 Minuten, vom October bis März 8 — 10 Minuten. An manchen Tagen beträgt sie 25 Minuten, an andern nur 5 — 6.

In nördlichen Gegenden sind die täglichen Variationen im allgemeinen größer und weniger regelmäßig, im magnetischen Aequator sind sie ganz unmerklich.

Südlich vom magnetischen Aequator finden die täglichen Variationen in entgegengesetzter Richtung statt. Es bewegt sich nämlich hier das Südende der Nadel nach denselben Himmelsgegenden, nach welchen sich zu derselben Zeit das Nordende auf der nördlichen Halbkugel bewegt.

der Inclination.

Auch die Inclination ist solchen täglichen Variationen unterworfen, wie zuerst Graham 1772 beobachtete. Diese sind aber nicht so bedeutend und auch schwieriger zu beobachten.

Störungen der Magnetnadel.

Außer diesen regelmäßigen Schwankungen erleidet die Magnetnadel auch sogenannte Störungen.

Solche treten ein: beim Mondlichte, bei Erdbeben, bei vulkanischen Ausbrüchen, und zwar bringen oft die beiden letzten Erscheinungen bleibende Abänderungen der Declination und Inclination hervor.

Intensität des Erdmagnetismus.

§ 141. Aus der Menge der Schwingungen, welche eine Magnetnadel in einer gegebenen Zeit macht, wenn man sie aus dem magnetischen Meridian gelenkt hat, erkennt man, daß auch die Intensität des Erdmagnetismus an verschiedenen Orten der Erdoberfläche verschieden ist, und zwar ist sie am kleinsten in der Gegend des magnetischen Aequators und wächst, je mehr man sich von da nach Norden oder Süden entfernt. In der Nähe der magnetischen Pole ist sie ungefähr 1,5 mal so groß, als am Aequator. Auch die Intensität ist an ein und demselben Orte veränderlich und täglichen Variationen unterworfen. — Isodynamische Linien.

B. Electricität.

§ 142. Wird ein Glasstab mit wollenem Zeuge gerieben, so zeigen sich an ihm folgende Erscheinungen: Was ist Electricität?

1) Er zieht leichte Körperchen an und stößt sie dann wieder ab.

2) Er giebt einen eigenthümlichen Geruch von sich.

3) Nähert man den Finger, so springt unter Knistern ein Funken über.

Man schreibt diese Erscheinungen einer durch das Reiben in der Glasstange geweckten Kraft zu, welche man **Electricität** nennt.

Die Griechen kannten schon diese Erscheinungen am Bernstein.

§ 143. Auf gleiche Weise kann man jeden festen Körper electrisch machen; aber manche, z. B. die Metalle, darf man beim Reiben nicht in der bloßen Hand, sondern muß sie an einem Glasgriffe halten. Gute, schlechte Electricitätsleiter.

Diese letzteren Körper unterscheiden sich auch noch auf andere Weise von den ersten. Berührt man nämlich einen an einem Glasgriffe gehaltenen Metallcylinder mit einem electrischen Körper, so wird er auf der ganzen Oberfläche electrisch, verliert aber auch wieder die ganze Electricität, wenn man ihn in einem Punkte mit dem Finger berührt. Berührt man aber einen Glasstab mit einem electrischen Körper, so wird er nur an der berührten Stelle electrisch, und ein durchgängig electrischer Glasstab verliert bei Berührung mit dem Finger nur an der berührten Stelle die Electricität.

Daher nennt man die Körper der ersten Art (die sich wie der Metallcylinder verhalten) **gute**, die der letzteren (die sich wie der Glasstab verhalten) **schlechte Electricitätsleiter**.

Zwischen den guten und schlechten Electricitätsleitern liegen noch andere Körper, welche sich nicht ganz wie Glas, aber auch nicht ganz wie Metall verhalten; sie heißen Halbleiter, z. B. trockenes Holz. Man kann überhaupt alle Körper in eine Reihe so zusammenstellen, daß zuerst der beste Electricitätsleiter steht, und dann jeder nachfolgende ein schlechterer Leiter ist, als der vorangehende.

Die besten Electricitätsleiter sind die Metalle, außerdem viele Flüssigkeiten und Kohle. Zu den schlechtesten Leitern gehören Glas, alle Harze, Schwefel, thierische Haare, Seide und die Luft. Der menschliche Körper gehört zu den guten Leitern.

Aus welchen Erscheinungen erkennt man, daß thierische Haare, Seide und Luft schlechte, Wasser und der menschliche Körper gute Leiter sind?

Einen guten Leiter von allen andern guten Leitern trennen, heißt ihn **isoliren**.

Den Unterschied zwischen guten und schlechten Leitern fand Gray in England 1729.

Wirkung electrischer Körper auf einander.

§ 144. Gesetz der Polarität. Wird eine mit Wolle geriebene Glasröhre in einen breiten, an einem seidenen Faden hängenden Glashaken gelegt, so wird sie von jeder andern mit Wolle geriebenen Glasröhre abgestoßen. Dieselbe Erscheinung zeigt sich, wenn man statt der beiden Glasröhren zwei Siegellackstangen nimmt. Dagegen wird die geriebene Glasröhre von der geriebenen Siegellackstange und diese von jener angezogen.

Hieraus geht hervor:

1) Es giebt zwei verschiedene Arten Electricität.

2) Gleichnamige Electricitäten stoßen sich ab, ungleichnamige ziehen sich an.

Früher nannte man die beiden Electricitäten Glas- und Harz-Electricität. Da man aber gefunden hat, daß in jedem Körper durch Anwendung verschiedener Reibzeuge sich sowohl die Glas-, als die Harz-Electricität erregen läßt, so hat man diese Namen aufgegeben, und nennt nun die in Glas durch Wolle erregte Electricität die positive, und die in Harz durch Wolle erregte, die negative Electricität (+ E und — E). Man hat auch gefunden, daß, so oft zwei Körper, selbst gleichartige, mit einander gerieben werden, der eine stets positiv, der andere negativ electrisch wird.

Spannung; electrische Atmosphäre.

Erklärung. Die Kraft, mit welcher ein electrischer Körper andere gleichnamig electrische Körper abstößt und ungleichnamige anzieht, nennt man die Spannung* seiner Electricität, und den Raum, innerhalb dessen die Anziehung und Abstoßung bemerkbar ist, die electrische Atmosphäre des Körpers.

Die Spannung kann gemessen werden durch zwei an leinenen Fäden hängende Korkkugeln (Electrometer).

Wie untersucht man, ob ein Körper positiv oder negativ electrisch ist?

Die entgegengesetzten Electricitäten fand der Franzose du Fay 1735.

Die Electrisirmaschine.

§ 145. Die Electrisirmaschine besteht im Wesentlichen aus folgenden Stücken:

1) Einer Glasscheibe oder einem Glascylinder. Am besten eignet sich hierzu das harte Glas (ohne Metalloxyd).

2) Dem Reibzeuge; zwei Lederkissen, die mit Amalgam bestrichen sind. (1 Th. Zinn, 1 Th. Zink, 2 Th. Quecksilber.)

3) Dem Conductor der Scheibe und dem des Reibzeuges (isolirte Metallkugeln oder Cylinder).

4) Den Zuleitern; Metallstäbe, die mit dem Conductor in Verbindung stehen, und an der Scheibe mit Spitzen versehen sind.

Die erste Electrisirmaschine wurde 1744 in Deutschland gebaut.

* Das Wort Spannung hat hier eine ähnliche Bedeutung wie bei den Dämpfen, wo es die Kraft bezeichnet, mit welcher sich die einzelnen Dampftheilchen abstoßen.

§ 146. 1) Wird ein isolirter Metallcylinder mit dem einen Ende in die electrische Atmosphäre eines Conductors gebracht, so erhält dieses die entgegengesetzte, das abgewandte Ende die gleichnamige Electricität. Sobald man den Körper wieder entfernt, so verschwindet die Electricität. Also: Wirkung electrischer Körper auf unelectrische.

Ein electrischer Körper macht andere Körper so electrisch, daß in den ihm zugewandten Theilen die entgegengesetzte, in den abgewandten die gleichnamige Electricität entsteht. — Gesetz der Vertheilung.

Hieraus läßt sich erklären, warum leichte Körper von einem electrischen angezogen werden.

2) Wird der Versuch Nr. 1 dahin abgeändert, daß man, während das eine Ende des Cylinders in der electrischen Atmosphäre des Conductors ist, das abgewandte Ende mit dem Finger berührt, so wird die hier befindliche gleichnamige Electricität abgeleitet, und der Cylinder ist scheinbar ganz unelectrisch. Wird er aber dann aus der electrischen Atmosphäre entfernt, so zeigt er die dem Conductor entgegengesetzte Electricität. Die auf dem zugewandten Ende erregte Electricität konnte also nicht abgeleitet werden und zeigte keine electrische Spannung, so lange sie in der electrischen Atmosphäre des Conductors war; man nennt die Electricität in diesem Falle gebunden. Aus dem Versuche folgt: Entgegengesetzte Electricitäten binden einander.

Entgegengesetzte Electricitäten binden einander.

3) Wird in Versuch Nr. 1 der Cylinder dem Conductor mehr und mehr genähert, so springt endlich ein Funken über. Entfernt man dann den Cylinder aus der electrischen Atmosphäre, so zeigt er die Electricität des Conductors. Die entgegengesetzte Electricität des zugewandten Endes ist also verschwunden. Man sagt: Sie hat sich mit der des Conductors ausgeglichen. gleichen sich aus.

Aus Versuch 3 folgt:

Entgegengesetzte Electricitäten gleichen sich aus.

Hiernach läßt sich nun erklären, warum in Versuch 1 der Leiter keine Electricität zeigt, wenn man ihn wieder aus der electrischen Atmosphäre des Conductors entfernt. — Das Gesetz wird dadurch bestätigt, daß, wenn man, während die Scheibe gedreht wird, das Reibzeug mit dem Conductor in leitende Verbindung setzt, dieser nicht electrisch wird. — Macht man den Versuch Nr. 1 bei feuchtem Wetter, so zeigt der Leiter, wenn man ihn aus der electrischen Atmosphäre des Conductors entfernt, entgegengesetzte Electricität. Wie kommt das?

Erklärung. Die Entfernung, bis zu welcher ein Funken überspringt, heißt Schlagweite. Schlagweite.

Die Schlagweite ist desto größer, je größer die Spannung ist, oder, was dasselbe ist, das Bestreben der Electricität, sich auszugleichen, ist desto größer, je größer die Spannung ist.

Mittheilung der Electricität.

Bei dem Versuche Nr. 3 verliert der Conductor an electrischer Spannung, und zwar desto mehr, je größer der genäherte Leiter ist; dieser gewinnt so viel, daß er mit dem Conductor gleiche Spannung hat. Je größer demnach die Spannung des Conductors war, desto größer ist die Spannung beider Körper nach der Ausgleichung.

Repetition. Bringt man einen Theil eines isolirten guten Leiters in die Atmosphäre eines electrischen Körpers, so wird in diesem Theile die entgegengesetzte, in dem abgewandten die gleichnamige Electricität erregt. Die Electricität des zugewandten Theiles ist gebunden, die des abgewandten frei. Führt man dann den Leiter bis in die Schlagweite, so gleicht sich die Electricität des zugewandten Theiles mit einem Theile der Electricität des electrischen Körpers durch einen Funken aus, und beide Körper haben dieselbe Art und dieselbe Spannung der Electricität:

Hiernach läßt sich nun erklären: 1) Auf welche Weise der Conductor durch die Scheibe, oder überhaupt irgend ein Körper durch Berührung mit einem electrischen Körper electrisch wird, oder was für ein Vorgang stattfindet, wenn man dem Conductor den Finger so weit nähert, daß ein Funken überspringt. 2) Warum man beim Laden des Conductors das Reibzeug in leitende Verbindung mit der Erde setzen muß.

Abhängigkeit der Spannung von der Gestalt des Körpers.

§ 147. 1) Ist der Conductor eine Kugel, so ist seine Spannung an allen Stellen der Oberfläche gleich groß, hat er aber eine andere Form, so haben die Theile eine stärkere Spannung, welche eine größere Krümmung haben; am stärksten ist die Spannung an Spitzen und Kanten. Da aber mit der Größe der Spannung das Bestreben wächst, sich mit der in der Luft erzeugten negativen Electricität auszugleichen, so müssen Kanten und Spitzen am Conductor vermieden werden.

Hieraus läßt sich erklären, warum die Zuleiter an der Scheibe in Spitzen endigen.

Im Dunkeln findet die Ausgleichung aus Kanten und Spitzen unter Erscheinung eines Lichtbüschels statt, besonders wenn man einen guten Leiter, etwa die Hand, gegen dieselben hält.

Vorzüglich schön zeigen sich die Lichtbüschel, wenn man eine Zinkplatte mit scharfen Ecken auf den Conductor legt und dieser die Hand nähert.

Eine Spitze am Conductor des Reibzeuges zeigt nicht einen Lichtbüschel, sondern einen Lichtpunkt, dagegen die genäherte Hand einen Lichtbüschel.

Die Verschiedenheit der beiden Electricitäten wird hier also sichtbar. Warum dreht sich das electrische Rad?

von der Beschaffenheit der Luft und des Luftdruckes.

2) Scheibe und Conductor nehmen eine desto größere Spannung an, je trockner die Luft und je größer der Luftdruck ist.

Je feuchter nämlich die Luft, und je geringer der Luftdruck ist, desto leichter gleicht sich die positive Electricität der Scheibe und des Conductors mit der durch sie in der Luft erzeugten negativen aus.

Im luftverdünnten Raume findet die Ausgleichung zwischen den beiden Electricitäten auf große Entfernung und unter einer herrlichen Lichterscheinung statt.

Besonders schön zeigt sich die Erscheinung, wenn man oben in dem Recipienten eine Zinkplatte anbringt, der man die positive Electricität zuleitet.

3) Je größer die Spannung des Conductors und je größer seine Oberfläche ist, einen desto größeren Funken giebt er. Die Größe der Masse des Conductors ist auf die Größe des Funkens, wie der Spannung ohne Einfluß. Abhängigkeit des Funkens von der Spannung und der Oberfläche.

Es ist gleichgültig, ob der Conductor massiv oder hohl ist, oder wohl gar nur aus Pappe besteht, welche mit Stanniol überzogen ist.

Erklärung. Je größer der Funken ist, den ein electrischer Körper giebt, eine desto größere Quantität der Electricität schreibt man ihm zu.

4) Aus Nr. 1, 2 und 3 schließt man, daß die Electricität eines Körpers nur auf dessen Oberfläche ihren Sitz hat. Die Electricität befindet sich nur auf der Oberfläche.

Mehrere der electrischen Gesetze, besonders diejenigen der Quantität und Spannung, lassen sich dem Gedächtnisse leicht einprägen, wenn man sich die Electricität als eine auf die Oberfläche der Körper aufgetragene Flüssigkeit (etwa wie eine flüssige Farbe) vorstellt, und unter der Dicke der Flüssigkeitsschicht die Spannung versteht. Die Gesetze würden dann in dieser bildlichen Darstellung folgendermaßen lauten:

a. Die Flüssigkeit bleibt nur auf der Oberfläche, sie dringt nicht in den Körper ein.

b. Auf manchen Stoffen verbreitet sich die Flüssigkeit sehr schnell über die ganze Oberfläche, auf manchen nur zum Theil oder gar nicht (gute, schlechte Leiter).

c. Je größer die Oberfläche eines Körpers ist, eine desto größere Quantität Flüssigkeit vermag sie aufzunehmen, und eine je dickere Schicht man darauf bringt, eine desto größere Quantität enthält sie.

d. Die Flüssigkeit wird vom Luftdrucke auf dem Körper erhalten. Fehlt dieser, so fließt die Flüssigkeit ab.

e. Je dicker die Flüssigkeitsschicht ist, desto größer ist das Bestreben, abzufließen.

f. An Kanten und Spitzen häuft sich die Flüssigkeit an, und fließt daher hier auch leichter ab.

g. Wird ein guter Leiter mit einem andern electrischen in Berührung gebracht, so fließt auf diesen so viel Flüssigkeit über, bis die Schicht auf beiden gleich dick ist.

§ 148. Der electrische Geruch. Bei der oben angeführten, durch feuchtes Wetter oder durch Aufsetzung einer Spitze auf den Con- Der electrische Geruch.

ductor veranlaßten Ausgleichung der Maschinen-Electricität mit der durch Vertheilung in der Luft erzeugten, bemerkt man den electrischen Geruch in hohem Grade. Derselbe rührt von einem Gase, dem Ozon, her, welches ähnliche Wirkungen, wie Chlor hervorbringt. Es zersetzt z. B. das Jodkalium. Hält man nämlich vor die auf dem Conductor befindliche Spitze ein mit Jodkaliumkleister (d. i. Stärkekleister mit etwas Jodkalium) bestrichenes Stück Papier, so wird der Kleister blau, indem das Ozon das Jodkalium zersetzt und das dadurch frei werdende Jod den Kleister blau färbt.

Das Ozon kann man auch erzeugen, wenn man in ein Fläschchen ein Stück Phosphor bringt und so viel Wasser zugießt, daß derselbe zur Hälfte eingetaucht ist. Die in der Flasche befindliche Luft riecht nach kurzer Zeit nach Ozon und wirkt auch, wie dieses, auf Jodkaliumkleister. Das Ozon scheint eine, durch Vermittelung der Electricität erzeugte Modification des Sauerstoffes zu sein.

Die Franklin'sche Tafel.

Fig. 150.



§ 149. Aus § 147, 3 geht hervor, daß man, um eine große Quantität Electricität zu erhalten, einen Conductor von großer Oberfläche anwenden muß. Es giebt aber zwei Vorrichtungen, vermittelst deren man auf einer verhältnißmäßig kleinen Fläche eine große Quantität Electricität erzeugen kann, nämlich die Franklin'sche Tafel und die Leydener Flasche.

1) Die Franklin'sche Tafel (Fig. 150.) ist eine zu beiden Seiten mit Stanniol belegte Glasscheibe, doch so belegt, daß der Belag nicht ganz bis an den Rand der Scheibe reicht.

Versuche mit derselben.

a. Bringt man die eine Seite in die electrische Atmosphäre des Conductors, so zeigt die vom Conductor abgewandte Seite positive Electricität.

Wie geht das zu?

b. Kommt der Belag in die Schlagweite des Conductors, so springt ein Funken über. Die positive Electricität der abgewandten Seite wird stärker und die zugewandte erhält positive Electricität.

Warum?

c. Leitet man die positive Electricität der abgewandten Seite ab, so zeigt die zugewandte Seite nur noch wenig positive, die abgewandte etwas negative Electricität.

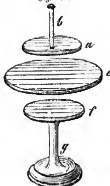
Warum?

Bringt man dieselbe Seite von Neuem in die Schlagweite, so springt ein zweiter Funken über. Ueberhaupt die ganze vorige Erscheinung wiederholt sich. Diese Operation kann man so lange fortsetzen, bis die dem Conductor zugewandte Seite gleiche Spannnng mit diesem hat.

Die Tafel ist nun „geladen." Mit der abzuleitenden positiven Electricität des äußern Belages läßt sich eine zweite Tafel laden. Man entladet die Tafel, wenn man beide Seiten in leitende Verbindung setzt, wobei sich ein im Verhältniß zur Größe der Fläche sehr großer Funken zeigt. Leitet man die positive Electricität der abgewandten Seite nicht ab, so springen nur wenige, sehr kleine Funken vom Conductor über

Warum?

Fig. 151.



Sehr unterrichtend ist eine Franklin'sche Tafel, deren Stanniolbeläge sich abnehmen lassen. In Fig. 151 ist a ein Pappdeckel mit Stanniol belegt und einer gläsernen Handhabe, b, versehen, c eine Glasscheibe, f eine mit Stanniol überzogene Holzscheibe auf einem gläsernen Fuße g.

Ist diese Tafel so geladen, daß man die Funken vom Conductor auf den Deckel a hat schlagen lassen, und man nimmt a ab, was haben dann a, b, c für Electricität? Nimmt man dann auch die Scheibe c ab, was zeigt diese für Electricität auf der einen und auf der andern Seite? Was f für welche? Setzt man nun einen Punkt der einen Seite von c mit einem Punkte der andern Seite in leitende Verbindung, was geschieht dann? Der Versuch läßt sich mit andern Punkten wiederholen. Entladet man die Glasscheibe aber nicht, sondern legt die drei Theile wieder in der ursprünglichen Ordnung zusammen, so läßt sich die Scheibe auf gewöhnliche Weise entladen.

Die Leydener Flasche.

2) Die Leydener Flasche (Fig. 152.) ist nichts anderes, als eine andere Form der Franklin'schen Tafel. Sie besteht aus einem Glasgefäße, dessen innere und äußere Seite, mit Ausnahme des obern Randes mit Stanniol belegt ist und von dessen innerem Belage ein in eine Kugel endigender Metallstab nach Außen füht.

Fig. 152.



Wozu der Metallstab?

Residuum.

Wenn die Leydener Flasche entladen ist, so erhält man nach einiger Zeit bei Verbindung des innern und äußern Belages noch einen kleinen Funken (Residuum), entstanden durch die Electricität, welche sich auf dem vom Belage freien Rande und andern Stellen des Glases befindet, an welchen der Belag nicht fest anliegt.

Bisweilen entladet sich die Flasche selbst. Wie geht das zu? — Eine isolirte Flasche kann man dadurch allmählich entladen, daß man abwechselnd den Knopf und den äußern Belag berührt. — Erkläre dieß.

Batterie.

Erklärung. Mehrere Leydener Flaschen, deren innere und deren äußere Beläge in leitender Verbindung stehen, nennt man eine electrische Batterie.

Die Leydener Flasche wurde von zwei Naturforschern fast zu gleicher Zeit, im Jahre 1745, erfunden, nämlich von Kleist in Kamin und Muschenbröt in Leyden. Der erstere wollte Wasser in einem Glase electrisch machen, indem er, das Glas mit der einen Hand haltend, Funken auf den Knopf eines in das Glas gesteckten Drahtes schlagen ließ. Nachdem eine Menge Funken übergegangen war, und er mit der andern Hand den Knopf berührte, erhielt er einen heftigen Schlag.

Wirkungen der electrischen Ausgleichung.

§ 150. **Wirkungen der electrischen Ausgleichung.** 1) Sie bringt im thierischen Körper eine Nervenerschütterung hervor, tödtet auch wohl das Thier.

2) Stellt sich der Ausgleichung ein schlechter Leiter entgegen, so wird dieser durchbohrt. (Bei Pappe hat das Loch auf beiden Seiten einen aufgeworfenen Rand.)

3) Findet die Ausgleichung durch Spiritus, Aether, Pulver und dergl. Körper statt, so werden diese entzündet.

4) Vermittelt man die Ausgleichung durch zwei in ein Glas Wasser gesteckte Metallspitzen, so wird das Glas zersprengt.

5) Geht die Ausgleichung durch einen dünnen Draht vor sich, so wird derselbe glühend, wird geschmolzen, oder oxydirt nur.

6) Ein Schlag, durch einen Apfel, ein Stück Zucker, Kreide, eine elfenbeinerne Kugel geführt, macht diese Körper im Dunkeln auf einen Augenblick leuchten.

7) Ein Schlag, spiralförmig um einen Eisenstab geführt, macht diesen magnetisch, und zwar so, daß man den Nordpol zur Linken hat, wenn man sich selbst in die Spirale, mit dem Gesichte nach dem Stabe zu, so gelegt denkt, daß der positive Funken in der Richtung von den Füßen nach dem Kopfe geht.

8) Die electrische Ausgleichung bringt chemische Verbindungen hervor, sie vereinigt z. B. Stickstoff und Sauerstoff zu Salpetersäure, Wasserstoff und Sauerstoff zu Wasser.

Das Goldblatt-Electrometer.

Fig. 153.



§ 151. **Das Goldblatt-Electrometer.** Das Goldblatt-Eelectrometer dient dazu, das Vorhandensein geringer Spuren von Electricität anzuzeigen. (Fig. 153.) Es besteht aus einem Metallstabe, welcher am untern Ende zwei Streifen Blattgold, oben eine Metallplatte trägt und isolirt in dem Deckel eines Glasgefäßes befestigt ist.

Wie untersucht man mit diesem Instrumente, ob ein Körper electrisch ist? — Um auch die Art der Electricität des zu untersuchenden Körpers zu erfahren, bringt man einen positiv electrischen Glasstab in die Nähe der Scheibe, während man unten die Platte mit dem Finger berührt. Nimmt man dann den Finger, darauf den Glasstab weg, so divergiren die Goldblättchen. Berührt man dann die Scheibe mit dem zu unter-

suchenden Körper, so divergiren die Goldblättchen noch mehr, oder sie gehen zusammen. Im ersteren Falle ist der Körper positiv, im zweiten negativ electrisch.

Um noch geringere Spuren von Electricität zu entdecken, bedient man sich des Condensators, einer an der untern Fläche mit Firniß überzogenen, mit einer isolirenden Handhabe versehene Metallscheibe. Der Condensator.

Um zu erfahren, ob ein Körper electrisch ist oder nicht, berührt man die Scheibe mit dem zu untersuchenden Körper, die untere Seite der auf dem Electrometer befindlichen Platte mit dem Finger, nimmt dann Finger und Körper weg und hebt die obere Platte ab. — Erklärung.

Der Condensator wurde 1782 von Volta erfunden.

§ 152. **Der Electrophor.** Das Gesetz der Vertheilung und der Ausgleichung kommt mehrfach zur Erscheinung am Electrophor; das ist ein Harzkuchen, welcher in einer flachen Metallschüssel liegt, und auf welchen eine mit einem isolirenden Griffe versehene Metallscheibe gelegt wird. Der Electrophor.

Die hauptsächlichsten Versuche mit dem Electrophor sind folgende:

1) Isolirt man den Electrophor und peitscht den Kuchen, so ist letzterer negativ electrisch und auch die Schüssel zeigt negative Electricität. Versuche mit demselben.

2) Setzt man den Deckel auf, so zeigt derselbe ebenfalls negative Electricität und die Electricität der Schüssel wird schwächer. Hebt man ihn dann ab, so ist er unelectrisch und in der Schüssel ist die Electricität wieder stärker.

3) Setzt man den Deckel auf und berührt ihn mit dem Finger, so erhält man einen Funken. Dadurch *schwächt* sich die Electricität der Schüssel. Hebt man dann den Deckel ab, so ist derselbe positiv electrisch, und die Electricität der Schüssel ist *wieder stärker*.

4) Hat man den Kuchen gepeitscht, wodurch dieser und die Schüssel negativ electrisch werden, und man berührt die Schüssel, so erhält man einen Funken. Macht man nun den Versuch Nr. 3, so zeigt die Schüssel wieder negative Electricität.

5) a. Setzt man den Deckel auf, berührt ihn mit dem Zeigefinger (wodurch man einen Funken erhält), und mit dem Daumen die Schüssel, so erhält man einen Schlag durch beide Finger.

b. Dasselbe geschieht, wenn man erst die Schüssel und dann den Deckel berührt.

c. Hebt man nach diesen Versuchen den Deckel ab, so erhält man von ihm einen positiven verstärkten Funken.

Ist der Electrophor nicht isolirt, so erhält man ganz dieselben Erscheinungen, nur zeigt die Schüssel überall keine Electricität, und der Versuch Nr. 5 a. gelingt nicht.

Alle diese Erscheinungen sind zu erklären. — Das Stärker- und Schwächerwerden, so wie das Hervortreten der Electricität zeigt sich, wenn man sowohl

an den Deckel, wie an die Schlüssel ein Metallstäbchen anbringt, welches an leinenen Fäden zwei Korkkugeln trägt.

Der Electrophor ist von Volta 1775 erfunden.

Lichtenberg'sche Figuren.

§ 153. **Lichtenberg'sche Figuren.** Der Electrophor bietet auch Gelegenheit, die Verschiedenheit der beiden Electricitäten dem Auge sichtbar zu machen.

Läßt man nämlich auf zwei verschiedene Stellen des ungepeitschten Harzkuchens einen positiven und einen negativen Funken schlagen und bepudert diese Stellen mit semen lycopodii, so entsteht an der Stelle, wo der positive Funken aufgeschlagen hat, eine strahlige, da, wo der negative den Kuchen getroffen, eine rundliche Figur. Sie heißen von ihrem Entdecker **Lichtenberg'sche Figuren.**

Am schönsten werden die Figuren, wenn man auf den Harzkuchen einen Ring und auf diesen eine Metallkugel legt, und dann den Funken auf die Kugel schlagen läßt.

§ 154. **Electrische Erscheinungen in der Atmosphäre.**

Das Gewitter.

a. **Das Gewitter.**

Die Luft ist stets mehr oder weniger electrisch.

Denn befestigt man an einen Stab einen isolirten Draht und an dessen Spitze ein Stück glimmenden Schwamm, so zeigt, wenn man den Stab zum Fenster hinaushält, das untere Ende des Drahtes Electricität. Noch besser gelingt der Versuch mit einem Papierdrachen.

Die Luft-Electricität entsteht durch die Verdunstung des Wassers und wahrscheinlich aus andern, noch unbekannten Ursachen.

Ein Gefäß, in welchem Wasser verdunstet, zeigt negative Electricität, es ist demnach wohl der Wasserdunst selbst positiv.

Die durch Niederschlag entstandenen Wolken werden durch die Luft electrisch, wie der Conductor der Electrisirmaschine durch die Scheibe.

Kommt in die electrische Atmosphäre einer positiven electrischen Wolke eine andere, noch unelectrische oder durch Entladung unelectrisch gewordene, oder eine schwächer electrische Wolke, so wird in ihr negative Electricität erzeugt, die beiden Wolken ziehen sich an, und die electrische Ausgleichung erfolgt unter Blitz und Donner.

Daher ziehen beim Gewitter nicht alle Wolken in derselben, sondern in ganz verschiedener Richtung.

Zieht eine electrische Wolke so tief, daß Gegenstände der Erdoberfläche in ihre electrische Schlagweite kommen, so schlägt der Blitz ein, zerschmettert und entzündet die dazwischen liegenden schlechten Leiter.

Daher führt der Blitzableiter den Blitz unschädlich zur Erde. Darum schlägt der Blitz immer in die höchsten Gegenstände.

Oft empfinden Menschen, welche sich in der Nähe eines einschlagenden Blitzes befinden, einen electrischen Schlag, ohne vom Blitze selbst getroffen

zu sein. Diese Erscheinung nennt man Rückschlag; sie entsteht durch die Electricität, welche in dem menschlichen Körper wegen der Nähe des Blitzes durch Vertheilung hervorgerufen ist.

Der Blitz ist geschlängelt, weil die Luft an verschiedenen Stellen verschiedene Leitungsfähigkeit hat.

Läßt man einen Funken vom Conductor an dem isolirenden Glasfuße herunterschlagen, so geht derselbe auch in geschlängelter Richtung, macht man aber einen geraden Strich mit Wasser an denselben, so geht er in gerader Richtung.

Daß der Donner nicht als ein einziger Knall wahrgenommen wird, wie das bei der Leydener Flasche der Fall ist, kommt daher, daß der auf einer langen Strecke zu gleicher Zeit erzeugte Schall zu verschiedenen Zeiten in unser Ohr gelangt, weil die einzelnen Punkte jener Strecke verschiedene Entfernung von uns haben.

Das Rollen des Donners, d. h. das mehrmalige Stärker-, und Schwächerwerden des Schalles, rührt von der geschlängelten Bahn des Blitzes her. Von dem Theile der Blitzbahn, welcher auf unser Ohr zu gerichtet ist, müssen wir einen schwächeren Schall hören, als von dem, welcher senkrecht auf dieser Richtung steht.

Dieselbe Erscheinung, wie wenn man eine klingende Stimmgabel senkrecht vor das Ohr hält und sie um ihre Achse dreht. — Interferenz des Schalles.

Der heftige Wind, den fast jedes Gewitter mit sich führt, entsteht durch die Abkühlung, die das Gewitter theils durch seinen Schatten, theils auf dieselbe unbekannte Weise, wie den Hagel, erzeugt.

b. Das Wetterleuchten — Das Wetterleuchten.

kann dadurch entstehen, daß die Blitze eines unter unserm Horizonte befindlichen Gewitters Wolken erleuchten, welche über demselben stehen, oder dadurch, daß zwischen zwei Wolken eine Electricitätsausgleichung in der Weise stattfindet, wie aus einer auf den Conductor geschraubten Spitze.

c. Das Elmsfeuer, — d. Elmsfeuer.

Flämmchen auf den Spitzen der Masten oder der Thürme, scheint eine ähnliche Ausströmung zu sein.

Franklin hat zuerst die electrische Natur des Gewitters erkannt und den Blitzableiter erfunden. 1752.


Fig. 154.

§ 155. Die Dampf-Electrisirmaschine. — Die Dampf-Electrisirmaschine. In neuester Zeit machte man die Erfahrung, daß ein Dampfkessel, aus welchem der Dampf mit Heftigkeit ausströmte, electrisch wurde. Hierauf gestützt, hat man nun eine Electrisirmaschine construirt, welche an Wirksamkeit alle bisher bekannten Electrisirmaschinen weit übertrifft.

Ihre Einrichtung ist etwa folgende: Ein kleiner Dampfkessel, der mit der Feuerung die Form eines Cylinders hat, steht auf vier Glasfüßen. Oben ist ein Hahn angebracht,

vermittelst dessen man den Dampf durch mehrere Röhren zugleich ausströmen lassen kann. Die Kanäle dieser Röhren sind in ihrem oberen Theile mit Holz ausgefüttert und haben die Gestalt, wie sie vorsteh. Fig. 154 zeigt, damit der ausströmende Dampf eine möglichst starke Reibung an den Wänden der Röhren veranlaßt.

Beim Ausströmen des Dampfes wird der Kessel negativ und der Dampf positiv electrisch. Um diese positive Electricität zu sammeln, ist vor die Ausströmungsöffnungen eine Reihe Metallspitzen aufgestellt, welche mit einem isolirten Conductor in Verbindung stehen. Soll mit der negativen Electricität experimentirt werden, so muß man die positive des Dampfes ableiten und umgekehrt. Die Electricität wird verstärkt, wenn man die Ausströmungsröhren durch ein Gefäß mit kaltem Wasser leitet, wodurch ein Theil des Dampfes condensirt wird.

Daß bei dieser Maschine die Electricität durch Reibung des Dampfes an den Ausströmungsröhren erzeugt wird, geht daraus hervor, daß, wenn man den Dampf nicht durch diese Röhren, sondern durch das Sicherheitsventil ausströmen läßt, gar keine Electricität entsteht.

C. Galvanismus.

Entdeckung d. Galvanismus.

§ 156. **Historisches.** Im Jahre 1789 machte Aloysius Galvani, Professor der Medicin in Bologna, die Beobachtung, daß frisch präparirte Froschschenkel, wenn er sie an kupferne Haken hängte, welche an einer eisernen Leiste befestigt waren, bei Berührung dieser Leiste in Zuckungen geriethen. Da nun dieselbe Erscheinung eintrat, wenn er aus dem Conductor der in der Nähe stehenden Electrisirmaschine Funken zog, so lag die Vermuthung nahe, daß auch jenes Zucken beim Aufhängen an die kupfernen Haken von einer electrischen Erregung herrühre. Doch gelang es ihm selbst nicht, die Erscheinung genügend zu erklären. Erst einige Zeit später (1800) fand Volta, daß die bei jener Erscheinung thätige Electricität durch den Contact des Kupfers und des Eisens hervorgebracht werde, und daß überhaupt, so oft sich zwei verschiedene Metalle berühren, das eine positiv, das andere negativ electrisch werde, und setzte die Richtigkeit dieses Satzes mit Hülfe des einige Jahre früher von ihm erfundenen Condensators außer Zweifel.

Berührt man die untere kupferne Condensatorplatte eines Fechner'schen Electrometers (s. § 161. 5.) mit einer Zinkplatte, indem man diese in der bloßen Hand hält und die obere Condensatorplatte mit dem Finger, und hebt darauf letztere ab, so zeigt das Goldblättchen — E.

Ist die untere Condensatorplatte von Zink, und man berührt sie mit einer Kupferplatte, so zeigt das Goldblättchen nachher + E.

Warum zuckten die Froschschenkel, wenn aus der Electrisirmaschine Funken gezogen wurden?

§ 157. 1) Je zwei Metalle werden durch Berührung electrisch. Sie bilden einen Körper, welcher polarisch-electrisch, d. h. von der Berührungsstelle nach der einen Seite positiv, nach der andern negativ electrisch ist. Erfolg der Berührung zweier oder mehrerer Metallplatten.

2) Die Spannnng der Electricität bleibt dieselbe, mögen sich die Platten in wenigen, oder in vielen Punkten berühren.

3) An der Berührungsstelle ist die Electricität am stärksten, aber größtentheils gebunden.

Schraubt man auf das Fechner'sche Goldblatt-Electrometer anstatt der unteren Condensatorplatte eine ungefirnißte Kupferplatte, und setzt auf diese eine ebenfalls nicht gefirnißte Zinkplatte, welche mit einer gläsernen Handhabe versehen ist, so zeigt das Electrometer erst beim Abheben der Zinkplatte einen kleinen Ausschlag. Der Erfolg wird stärker, wenn man die Zinkplatte öfter abhebt und nach dem Abheben jedesmal mit dem Finger berührt.

4) Ein und dasselbe Metall wird bald positiv, bald negativ electrisch, je nachdem es mit diesem oder jenem Metalle in Berührung kommt.

Z. B. Eisen wird in Berührung mit Zink negativ, in Berührung mit Silber positiv electrisch.

5) Alle Metalle lassen sich in eine Reihe so ordnen, daß irgend eines derselben mit jedem vorhergehenden negativ, mit jedem folgenden positiv electrisch wird; z. B.

+ Zink, Blei, Zinn, Eisen, Kupfer, Silber, Gold, Platin, Kohle —. Spannungsreihe.

6) Je weiter zwei Metalle in dieser Reihe von einander stehen, desto stärker ist die Spannung der durch sie erzeugten Electricität. Daher heißt sie Spannungsreihe.

7) Die electrische Spannung zweier Metalle ist gleich der Summe der Spannung der dazwischen liegenden Glieder.

Nennen wir z. B. die Spannung der durch Berührung von Zinn und Eisen erregten Electricität „einen Grad Spannung," und erzeugt nach dieser Bezeichnung die Berührung von Eisen und Kupfer $1\frac{1}{2}$ Grad, die von Kupfer und Silber $2\frac{1}{2}$ Grad, die von Silber und Gold 2 Grad, so ist die Spannung der durch Berührung von Zinn und Gold erregten Electricität

$$= 1 + 1\tfrac{1}{2} + 2\tfrac{1}{2} + 2 = 7 \text{ Grad.}$$

8) Wenn man mehrere Metalle über einander schichtet, so ist die Spannung der Endplatten gerade so groß, als ob sie sich unmittelbar berührten.

Fig. 155.

Z
E
K
S
G

Diese Erscheinung läßt sich in folgender Weise erkären: Gesetzt, man legt Gold, Silber, Kupfer, Eisen und Zinn übereinander (Fig. 155.), und die Spannungen zwischen den einzelnen Metallen seien die vorhin angenommenen, so wird durch die Berührung der Platten Z und E ein Grad positiver und ein Grad negativer Electricität erzeugt. Die positive scheidet sich in der Richtung von E nach Z, die negative in der Richtung von Z nach E ab. Letztere wird durch die Platten K, S bis G fortgeleitet. Es entsteht also auf G durch die Berührung zwischen Z und E ein Grad negativer Electricität. Ebenso scheidet sich durch die Berührung zwischen E und K 1½ Grad positive Electricität in der Richtung von K nach E hin ab, und 1½ Grad negative in der Richtung von E nach K. Erstere wird bis zur Fläche Z, letztere bis zu G fortgeleitet. Es entsteht also durch die beiden Berührungen zwischen Z und E und zwischen E und K auf der Fläche Z 1 + 1½ Grad positive, auf der Fläche G 1 + 1½ Grad negative Electricität, u. s. f. Sonach müssen zusammen auf der Fläche Z 7 Grad positive und auf G 7 Grad negative Electricität entstehen, d. i. gerade so viel, als ob sich Z und G unmittelbar berührten.

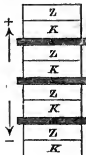
Fig. 156.

Z	
K	1
Z	2
K	3
Z	4
K	5
Z	6
K	7

Hieraus geht auch hervor, daß, wenn man abwechselnd eine Menge Kupfer- und Zinkplatten über einanderschichtet (Fig. 156.), man auf den Endplatten nur gerade so viel Electricität erhält, als ein einziges Plattenpaar erzeugt. Denn während durch die 1ste, 3te, 5te, 7te Berührung auf der obersten Platte positive und auf der untersten negative Electricität erzeugt wird, erzeugen die 2te, 4te, 6te Berührung auf der obersten Platte negative und auf der untersten positive Electricität.

Die Volta'sche Säule.

Fig. 157.



§ 158. Hiernach scheint es, als ob man durch Uebereinanderschichten mehrerer Plattenpaare derselben Metalle die Electricität nicht verstärken könne. Dennoch läßt sich dieser Zweck erreichen, wenn man diejenigen metallischen Berührungen, welche dem Effecte hinderlich sind, also die in 2, 4 und 6 beseitigt, ohne daß man die Leitung aufhebt, und das geschieht dadurch, daß man einen guten, aber nicht metallischen Leiter, nämlich einen feuchten Leiter (Tuchläppchen oder Pappscheiben, welche mit verdünnter Schwefelsäure getränkt sind) dazwischen legt. (Fig. 157.) Denn in dieser Zusammensetzung erzeugen alle metallischen Berührungen nach einerlei Richtung hin positive, nach der entgegengesetzten negative Electricität.

Es wird sich später ergeben, daß es zweckmäßig ist, auf die obere Zinkplatte noch ein Säureläppchen und eine Kupferplatte, und unter die unterste Kupferplatte noch ein Säureläppchen mit einer Zinkplatte zu legen.

Erklärung. Eine solche Zusammensetzung heißt Volta'sche Säule oder Galvani'sche Batterie.

Ein in metallischer Berührung stehendes Plattenpaar mit dazwischen befindlichem feuchten Leiter heißt einfache Galvani'sche Kette.

§ 159. In der Galvani'schen Batterie sind jedoch die feuchten Läppchen nicht bloße Electricitätsleiter, sondern sie erzeugen durch ihre Berührung mit den Metallen auch Electricität, und zwar wird sowohl Zink als auch Kupfer negativ electrisch. Die Berührungen der Säure mit dem Zink erhöhen daher den Effect der Batterie, die Berührungen derselben mit dem Kupfer schwächen ihn. Da aber die durch die Säure in dem Zink erregte negative Electricität etwas stärker ist, als die in dem Kupfer erzeugte, so wird durch die gesammten Berührungen der Säure und der beiden Metalle die Wirkung der metallischen Berührungen noch etwas erhöht. Die feuchten Leiter erzeugen auch Electricität.

In der Anordnung, wie sie unsere Figur zeigt, wird durch die Berührungen der Säure mir dem Zink nach unten hin negative, durch die mit Kupfer positive Electricität erregt.

Daß die beiden Metalle durch Berührung mit verdünnter Schwefelsäure negativ electrisch werden, läßt sich auf folgende Art zeigen: Man schraubt auf ein sehr empfindliches Electrometer als untere Condensatorplatte eine Zinkplatte, welche oben gefirnißt ist, legt auf dieselbe eine unten gefirnißte Glasplatte und auf diese ein mit verdünnter Schwefelsäure getränktes Stück Löschpapier. Verbindet man dann die untere Condensatorplatte durch einen Zinkstreifen mit der Schwefelsäure und hebt die Glasplatte ab, so zeigt das Electrometer negative Electrteität.

Es gelten überhaupt für die Flüssigkeiten folgende Gesetze: Gesetze für die durch Flüssigkeiten erzeugte Electricität.

1) Alle Flüssigkeiten machen die Metalle electrisch.

Z. B. reines Wasser macht Zink und Platina negativ electrisch. Durch verdünnte Schwefelsäure wird Gold und Platina positiv, Kupfer und Zink, wie schon angeführt, negativ electrisch; concentrirte Salpetersäure erregt Platin, Gold, Kupfer, Eisen positiv, Zink negativ electrisch.

2) Die Flüssigkeiten lassen sich aber nicht in die Spannungsreihe einordnen.

Denn da Salpetersäure Zink negativ electrisch macht, so müßte sie in der Spannungsreihe über diesem stehen, also Kupfer noch stärker negativ electrisch machen; und doch wird Kupfer durch sie positiv electrisch.

§ 160. Die Volta'sche Säule muß also, wie oben gezeigt, wenn sie isolirt steht, an dem Ende, nach welchem hin von jedem Plattenpaare das Zink liegt, positiv, an dem andern negativ electrisch sein. Spannung an d. Volta'schen Säule.

Aber die Spannung ist an den beiden Enden, wenn die Säule aus n Plattenpaaren besteht, nicht, wie man erwarten sollte, n mal so

groß, als die eines einzigen Paares, sondern nur $\frac{n}{2}$-mal so groß. Nach der Mitte zu nimmt die electrische Spannung ab, in der Mitte selbst ist sie gleich Null. Die isolirte Volta'sche Säule hat also wie ein Magnet zwei Pole und eine Indifferenzstelle.

Wird aber die Electrität an dem einen Pole abgeleitet, so ist die Spannung an dem andern, wenn die Säule aus n Plattenpaaren besteht, ungefähr n mal so groß, als die Spannung eines Paares, und nimmt von da nach dem andern Ende hin ab, wo sie gleich Null ist.

Die Electricität des einen Poles wird also durch die des andern Poles zum Theil gebunden, so wie bei der Electrisirmaschine die Electricität der Scheibe durch die des Reibzeuges gebunden wird, wenn man diese nicht ableitet.

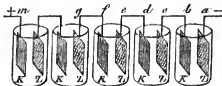
Im Allgemeinen ist die Spannung an den Polen der Säule im Vergleich mit der durch Reibung erzeugten Electricität ungemein gering, wie sich durch jedes Electrometer zeigen läßt.

Electrischer Strom. Werden die Pole der isolirten Säule durch einen Leitungsdraht verbunden, so entsteht eine immerwährende Ausgleichung der Electricität, ein electrischer Strom, und zwar geht die positive Electricität vom positiven Pole durch den Leitungsdraht nach dem negativen Pole und von da durch die Säule nach dem positiven. Die Säule heißt dann **geschlossen**.

In der geschlossenen einfachen Kette geht der positive Strom vom Zink durch die Säure nach dem Kupfer, von diesem durch den Verbindungsdraht nach dem Zink.

Verschiedene Formen der galv. Batterie. § 161. Die beschriebene galvanische Batterie bietet aber mehrfache Uebelstände: Die obern Platten drücken durch ihre Schwere sehr stark auf die unteren; dadurch werden die untern Tuchläppchen ausgepreßt, also trocken, verlieren dadurch ihre Leitungsfähigkeit, und die an der Seite herablaufende Flüssigkeit bildet eine leitende Verbindung zwischen den einzelnen Plattenpaaren, wodurch die entstandene Electricität sich zum Theil wieder ausgleicht. Man hat daher andere Formen der galvanischen Batterie construirt, von denen die wichtigsten folgende sind:

Fig. 158.



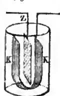
1) Eine Reihe von Gefäßen (Fig. 158.) ist mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt. In jedes ist eine Kupfer- und eine Zinkplatte eingetaucht, von denen je zwei durch einen Kupferstreifen so verbunden sind, wie es die Figur zeigt.

Durch die Verbindung bc wird die Kupferplatte b negativ, die Zinkplatte c positiv electrisch. Die — E der Platte b wird durch die Säure nach der Platte a fortgeleitet. Die + E der Platte c geht durch die Säure nach der

Platte d, von da durch de, dann durch die Säure nach der Platte f u. s. f. bis zur Platte m. Ebenso wird die durch die Verbindung de in der Platte e erzeugte + E bis m, und die in d erregte — E bis a fortgeleitet u. s. w., so daß a und m die Pole werden.

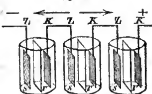
Noch stärkere Electricität wird erregt, wenn die Kupferplatten doppelt so groß als die Zinkplatten sind, und die Zinkplatten umschließen, ohne sie zu berühren (Fig. 159.). Eine solche Batterie heißt die Wollaston'sche. Aber auch sie verliert nach und nach ihre Electricität, weil sich, wenn die Säule geschlossen wird, in einiger Zeit eine Schicht von Wasserstoffbläschen an die Kupferplatte anlegt, die den electrischen Strom schwächen. Dieser Uebelstand wird beseitigt durch die sogenannten constanten Ketten, von denen hier die drei wichtigsten folgen: Die Wollaston'sche Batterie.

Fig. 159.



2) Die Daniell'sche Batterie (Fig. 160.) unterscheidet sich von der vorigen nur dadurch, erstens, daß jedes Gefäß durch eine Scheidewand von porösem Thone in zwei Zellen getheilt ist, so daß sich die Kupferplatte in der einen, die Zinkplatte in der andern Zelle befindet, und zweitens, daß die die Kupferplatte enthaltende Zelle nicht wie die andere mit verdünnter Schwefelsäure, sondern mit concentrirter Kupfervitriol-Lösung gefüllt ist. b. Daniell'sche.

Fig. 160.



Die Scheidewand von porösem Thone trennt bloß die Flüssigkeiten, hebt aber die Leitung nicht auf. In dieser Batterie belegen sich beim Schließen derselben die Kupferplatten nicht mit Wasserstoff, sondern mit regulinischem Kupfer.

3) Die Bunsen'sche Batterie ist noch wirksamer, als die Daniell'sche. Sie unterscheidet sich von dieser dadurch, daß an der Stelle des Kupfers ausgeglühte Steinkohle, und anstatt des Kupfervitriols concentrirte Salpetersäure steht. b. Bunsen'sche.

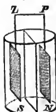
4) Die Grove'sche Batterie ist nur darin von der Bunsen'schen verschieden, daß sie an der Stelle der Kohle Platina hat, welches bei weitem besser als Kohle leitet. Die Daniell'sche, die Bunsen'sche und die Grove'sche galvanische Kette heißen auch viergliedrige Ketten. die Grove'sche.

In der Regel stellt man die beiden Zellen in jedem Gefäße nicht durch eine Scheidewand her, sondern dadurch, daß man in das äußere Gefäß einen unten geschlossenen Cylinder von porösem Thone setzt, der dann die eine Flüssigkeit mit dem dazu gehörigen Metalle enthält, während sich die andere Flüssigkeit mit ihrem Metalle in dem äußeren Gefäße befindet. Und um möglichst große Platten anwenden zu können und möglichst dünne Flüssigkeitsschichten zu haben, giebt man den Platten, so wie der Kohle die Form eines Cylinders.

Die Bunsen'sche und die Grove'sche Kette sind deshalb constant, weil das bei der Schließung derselben an der Kohle oder dem Platina Vorzüge der beiden letzteren.

entstehende Wasserstoffgas sich mit einem Theile des in der Salpetersäure enthaltenen Sauerstoffs wieder zu Wasser verbindet.

Fig. 161.



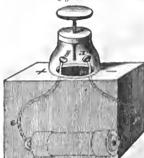
Die große Wirksamkeit der Grove'schen Kette hat aber außer in den schon angeführten Umständen auch noch in Folgendem ihren Grund: Durch die Berührung des Zinks mit dem Platina wird das Zink positiv, das Platina negativ electrisch, und da sich die Electricitäten durch die Säure und die Scheidewand ausgleichen können, so entsteht ein electrischer Strom, dessen positiver Theil vom Zink durch die Säure nach dem Platina und von diesem durch den Verbindungsdraht nach dem Zink geht. Durch die Berührung der Salpetersäure mit Platina wird das Platina positiv electrisch, also wird durch diese Berührung ebenfalls ein positiver Strom erzeugt, welcher von der Säure nach dem Platina und von diesem durch den Verbindungsdraht nach dem Zink geht. Durch die Berührung der Schwefelsäure mit dem Zink wird das Zink negativ, also die Schwefelsäure positiv electrisch. Diese + E geht durch die Salpetersäure nach dem Platina u. s. w., also auch in derselben Richtung, wie die durch die andern beiden Berührungen erregte Electricität. (Fig. 161.)

Die trockenen Säulen.

5) Die trockene oder Zamboni'sche Säule erhält man, wenn man unächtes Goldpapier (Kupfer) und Silberpapier (Zinn) mit der Papierseite zusammenklebt, dann Scheiben daraus schneidet und 1000 bis 2000 derselben in einer Glasröhre so übereinanderschichtet, daß die Kupfer- und die Zinnfläche sich berühren, und die Kupferseite immer nach derselben Richtung hin liegt. Das Papier, welches immer etwas Feuchtigkeit aus der Luft einsaugt, vertritt hier die Stelle des feuchten Leiters. Diese Säulen behalten ihre Wirksamkeit sehr lange Zeit.

Das Fechner'sche Electrometer.

Fig. 162.



Solche Säulen hat Bohnenberger zur Construction eines sehr empfindlichen Electrometers benutzt, welchem Fechner folgende Einrichtung gegeben hat (Fig. 162.): Unter einem Goldblatt-Electrometer, wie es § 151 beschrieben ist, das aber nur ein Goldblättchen enthält, liegt eine Zamboni'sche Säule. Von deren Polen gehen zwei Drähte, e und f, in das Glasgefäß, die zu beiden Seiten des Goldblättchens in eine Metallplatte, x und y, endigen. Je nachdem nun dem Goldblättchen — E oder + E mitgetheilt wird, wendet es sich nach der positiven oder der negativen Platte.

Wirkungen des electrischen Stromes.

Der durch die Schließung der galvanischen Batterie hervorgebrachte Strom bringt im Allgemeinen dieselben Wirkungen hervor, als der

Funke der Leydener Flasche, nur diejenigen nicht, welche eine große Spannung erfordern; alle übrigen sind stärker.

§ 162. **Physikalische Wirkungen.** Der electrische Strom erzeugt Licht, Wärme, Magnetismus. Physikalische Wirkungen d. electrischen Stromes.

Beim Schließen und Trennen der Poldrähte zeigt sich ein Funken. Befestigt man an den beiden Pol-Enden einer Galvani'schen Batterie zugespitzte Kohlenstücke, am Besten von der Masse, wie sie in der Bunsen'schen Batterie gebraucht wird, und bringt diese in Berührung, so zeigt sich zwischen ihnen ein sehr glänzendes Licht. Durch eine Bunsen'sche Batterie von 4 Elementen (Plattenpaaren) läßt sich diese Erscheinung hervorbringen. Bei 20—30 Elementen lassen sich die Kohlenspitzen von einander entfernen, wodurch ein Lichtbogen entsteht, dessen Glanz den des Drummond'schen Kalklichtes weit übertrifft.

Ist der Verbindungsdraht ein dünner Eisendraht, so wird er glühend, schmilzt und verbrennt unter Funkensprühen. Platindraht wird ebenfalls glühend und schmilzt.

Dies Glühen hat man mit Erfolg zum Entzünden des Pulvers beim Felsensprengen benutzt; denn man kann dadurch das Pulver vieler Bohrlöcher in demselben Momente entzünden, wodurch die Wirkung auf den Felsen bedeutend erhöht wird.

Leitet man den electrischen Strom spiralförmig um einen Eisenstab, so wird dieser magnetisch.

§ 163. **Physiologische Wirkungen.** Beim Schließen der galvanischen Batterie vermittelst des menschlichen Körpers erhält man einen electrischen Schlag; ebenso beim Trennen. Bei starken Säulen fühlt man während der ganzen Dauer der Schließung eine Nerven-Erschütterung. Physiologische Wirkungen.

Einen merklichen Schlag erhält man aber nur von Säulen mit wenigstens 30—40 Plattenpaaren und auch da nur, wenn man die Hände befeuchtet. Bedeutende Größe brauchen die Platten nicht zu haben.

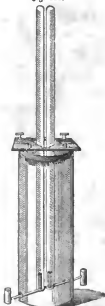
In dem Augennerv erregt der galvanische Schlag eine Lichterscheinung, in dem Geschmacksnerven eine Geschmacksempfindung; und zwar der positive, auf die Zunge gehalten, einen säuerlichen, der negative einen alkalischen Geschmack (Folge der chemischen Zersetzung des Speichels).

Die Lichterscheinung sieht man, wenn man den einen Poldraht in der befeuchteten Hand, den andern an die befeuchtete Stirn hält, oder auch schon, wenn man einen silbernen Löffel an die eine Seite, einen Zinkstreifen an die andere Seite des oberen Zahnfleisches hält und die anderen Enden mit einander in Berührung bringt. Ebenso kann man die Geschmacksempfindung durch die beiden genannten Körper hervorbringen.

§ 164. **Chemische Wirkungen.** 1) Der galvanische Strom zersetzt chemische Verbindungen. Chemische Wirkungen.

Zersetzung des Wassers.

a. Wasser wird so zersetzt, daß sich der Sauerstoff am positiven, der Wasserstoff am negativen Pole sammelt.


Fig. 163.

Zur Wasserzersetzung eignet sich besonders folgender Apparat: Durch die Seitenwand eines Glasgefäßes (Fig. 163.) gehen zwei Kupferdrähte, an deren Enden Platinplättchen angelöthet sind; die Löthstelle und die Kupferdräthe sind, so weit sie sich im Wasser befinden, mit Siegellacklösung überzogen. Zwei mit gesäuertem Wasser gefüllte Glascylinder stehen so in dem Glase, daß in jedem derselben ein Platinplättchen sich befindet. Werden nun die Drähte mit den Poldrähten einer galvanischen Batterie in Verbindung gesetzt, so scheidet sich an der positiven Platte Sauerstoff, an der negativen Wasserstoff ab. Fängt man beide Gase in demselben Gefäß auf, so erhält man Knallgas.

Daß die beiden Gase sich nur an den Poldrähten, also getrennt von einander ausscheiden, wird auf folgende Weise erklärt. Durch die Verbindung des Wasserstoffes mit Sauerstoff zu Wasser werden die Wasserstoffatome positiv, die Sauerstoffatome negativ electrisch. Durch die Einwirkung der Poldrähte wenden sich alle Sauerstoffatome des zwischen den Drähten befindlichen Wassers dem positiven, alle Wasserstoffatome dem negativen Poldrahte zu; dann werden die Sauerstoffatome der dem positiven Pole zunächstliegenden Wassertheilchen frei, die Wasserstoffatome gehen auf den negativen Pol zu und bilden mit den in der Richtung vom negativen Pole kommenden Sauerstoffatomen Wasser, bis sie an den negativen Pol kommen, wo sie frei werden.

Die Zersetzung findet auch in den zwischen den Platten der Batterie befindlichen feuchten Leitern statt, daher belegen sich die Kupferplatten in der Volta'schen Säule mit Wasserstoffbläschen, und das Zink oxydirt.

Die Wasserzersetzung durch den galvanischen Strom wurde von Carlisle und Nicholson i. J. 1800 entdeckt. Bis dahin war man nicht im Stande, das Wasser direkt in seine Bestandtheile aufzulösen.

der Oxyde.

b. Oxyde werden durch den galvanischen Strom so zerlegt, daß sich am positiven Pole der Sauerstoff, am negativen das Radical ausscheidet.

Feuchtet man ein leicht reducirbares Oxyd mit Wasser an und hält darein sehr nahe an einander die Poldrähte, so zeigen sich am negativen Pole bald kleine Metallkügelchen.

Im Jahre 1807 fand Davy, daß die Alkalien nicht einfache Körper seien, wie man bis dahin geglaubt hatte, sondern zu den Oxyden gehören. Dabei wurde Kalium und Natrium entdeckt.

c. Bei der Zersetzung der Salze erscheint die Säure am positiven, die Basis am negativen Pole. Zersetzung der Salze.

Füllt man eine hufeisenförmig gebogene Röhre (Fig. 164.) mit einer Salzlösung, welche man mit Malventinctur violett gefärbt hat, und taucht in jeden Schenkel der Röhre einen Poldraht, so wird die Flüssigkeit am positiven Pole roth, am negativen blau.

Fig. 164.



Wenn das Metall in der Salzbase ein nicht leicht oxydirbares ist, z. B. im schwefelsauren Kupferoxyd, so schlägt es sich am negativen Poldrahte metallisch nieder, während am positiven Pole Sauerstoff frei wird.

Hierauf gründet sich die Galvanoplastik, die galvanische Vergoldung, Versilberung u. dgl.

Um von einer Münze einen Abdruck herzustellen, macht man zunächst einen Abdruck in Wachs oder Stearin, den man erhält, wenn man die Münze mit einem Papierrande versieht und geschmolzenes Wachs oder Stearin darauf gießt. Dieser Abdruck wird nun ganz dünn mit Graphit überzogen und in einer Daniell'schen Kette als negative Polplatte benutzt, so hat sich nach einigen Tagen eine so dicke Kupferschicht aufgesetzt, daß man sie abnehmen kann.

Eine höchst wichtige Anwendung der Galvanoplastik ist die Vervielfältigung von Holzschnitten und gestochenen Kupferplatten, wodurch es möglich ist, eine große Menge Abdrücke von gleicher Schärfe herzustellen.

Um Metalle zu vergolden, zu versilbern u. dgl., befestigt man sie am negativen Poldrahte und taucht sie in eine Auflösung dieser Metalle.

d. Chlor-, Jod- und Brom-Metalle werden so zersetzt, daß sich das Metall am negativen, Chlor, Jod und Brom am positiven Pole ausscheidet. d. Chlor-, Jod- und Brom-Metalle.

Sehr leicht zerlegbar ist Jodkalium.

Man kann wohl annehmen, daß, so oft ein electrischer Strom durch irgend einen zusammengesetzten flüssigen Körper geht, auch eine Zersetzung stattfindet.

2) Der galvanische Strom befördert auch chemische Verbindungen. Beförderung chemischer Verbindungen.

Ist z. B. der positive Verbindungsdraht ein leicht oxydirbares Metall, so verbindet es sich sehr leicht mit dem aus dem Wasser ausgeschiedenen Sauerstoff. Chemisch reines Zink wird in verdünnter Schwefelsäure gar nicht oder nur langsam aufgelöst, berührt man es aber mit einem Stück Silber, so oxydirt es.

Die merkwürdigen Beziehungen, in denen die chemischen und electrischen Kräfte zu einander stehen, haben zu folgender Theorie geführt:

Electrochemische Theorie von Davy und Berzelius.

§ 165. 1) Sowie Kupfer und Zink durch gegenseitige Berührung electrisch werden, so werden die Atome je zweier Elemente, wenn sie Erklärung der chemisch. Verwandtschaft.

sich berühren, entgegengesetzt electrisch, und die Anziehung der so erzeugten entgegengesetzten Electricität ist die Ursache der chemischen Verbindung. (Chemische Verwandtschaft ist hiernach die Neigung, entgegengesetzt electrisch zu werden.)

Hieraus folgt nicht etwa, daß die chemische Verbindung electrisch sein muß; denn so wie bei Berührung einer Kupfer- und einer Zinkplatte der größte Theil der entstehenden Electricität gebunden bleibt, so auch bei der chemischen Verbindung. Und selbst wenn die Elemente der chemischen Mischung freie Electricität behielten, so könnte diese nicht merklich werden, weil jedes Atom der Mischung sowohl + E als — E enthielte.

Eben dieser electrische Zustand der Elemente einer chemischen Verbindung ist dann auch die Ursache, warum chemische Verbindungen durch die beiden Poldrähte der galvanischen Batterie wieder getrennt werden.

Der positive Pol zieht das negative Element, der negative Pol das positive an.

Spannungsreihe der Elemente.

2) Alle Elemente lassen sich in eine Reihe so ordnen, daß jedes folgende durch Berührung mit jedem vorangehenden positiv electrisch wird. Diese Reihe ist folgende:

—	Tantal,	Nickel,
Sauerstoff,	Titan,	Eisen,
Schwefel,	Silicium,	Cadmium,
Selen,	Osmium,	Zink,
Tellur,	Gold,	Wasserstoff,
Stickstoff,	Iridium,	Mangan,
Chlor,	Rhodium,	Zirconium,
Brom,	Platin,	Aluminium,
Jod,	Palladium,	Thorium,
Fluor,	Quecksilber,	Beryllium,
Phosphor,	Silber,	Magnesium,
Arsenik,	Kupfer,	Calcium,
Kohlenstoff,	Uran,	Strontium,
Chrom,	Wismuth,	Barium,
Molybdän,	Blei,	Lithium,
Bor,	Cerium,	Natrium,
Vanadin,	Lanthan,	Kalium.
Wolfram,	Yttrium,	+
Antimon,	Kobalt,	

Die Stellung vieler Glieder dieser Reihe ist jedoch noch eine zweifelhafte, da man dieselbe nicht durch direkte Versuche, sondern nur aus dem chemischen Verhalten der Stoffe ungefähr bestimmt hat.

Erklärung von Säure, Base.

3) Die zusammengesetzten Körper verhalten sich ähnlich zu einander, wie die Elemente. Diejenigen binären Verbindungen nun (Oxyde, Sulfüre, Chlorüre), welche sich durch negativ-electrische Eigenschaften characte-

risiren, und fähig sind, Verbindungen einer höhern Ordnung einzugehen, werden Säuren genannt; diejenigen, welche bei diesen weiteren Verbindungen den electropositiven Theil bilden, Salzbasen. Je näher die Elemente einer Säure dem negativen Ende der Spannungsreihe stehen, eine desto stärkere Säure ist sie.

Schwefelsäure ist die stärkste der Säuren.

Sauerstoff bildet mit den Elementen, welche an dem negativen Ende der Spannungsreihe stehen, Säuren, mit denen, welche am positiven Ende stehen, Basen.

Kali ist die stärkste Base.

Verbindet sich ein Körper in mehreren Verhältnissen mit Sauerstoff, so ist die Verbindung desto mehr electronegativ, sie hat desto mehr die Eigenschaften einer Säure, jemehr der Sauerstoff vorwaltet.

Z. B. 1 Atom Mangan + 3 Atome Sauerstoff = Mangansäure; 1 Atom Mangan + 1 Atom Sauerstoff = Manganoxyd.

§ 166. 1) Sowohl der durch die einfache galvanische Kette, wie der durch die galvanische Batterie erzeugte Strom ist, wie wir eben gesehen haben, von einer chemischen Zersetzung begleitet. Verhältniß der Stromstärke zur chemischen Zersetzung.

2) Die Stärke des electrischen Stromes ist, wie Faraday nachgewiesen hat, proportional der chemischen Zersetzung.

Wird z. B. in jeder Zelle eines galvanischen Apparates 2 oder 3 mal so viel Zink zersetzt, als in einem andern Falle, so ist der Strom auch 2 oder 3 mal so stark.

Anmerkung. Wir werden später ein Instrument kennen lernen, vermittelst dessen man die Stromstärke genau messen kann.

Hieraus scheint hervorzugehen, daß der galvanische Strom durch die chemische Zersetzung bedingt ist.

Auch aus Nr. 1 des vorigen Paragrapphen folgt, daß der galvanische Strom durch die chemische Zersetzung wenigstens verstärkt wird.

Denn wenn durch die chemische Verbindung zweier Körper, indem sie sich berühren, Electricität erzeugt und gebunden wird, so muß bei der Trennung derselben diese gebundene Electricität wieder frei werden. Und da nun der electropositive Bestandtheil vom positiven Pole durch die Säure zum negativen Pole geht, so trägt er seine positive Electricität in dieser Richtung fort und giebt sie daselbst ab; denn seine Electricität wird erst hier frei, weil hier erst seine Trennung von dem electronegativen Bestandtheile stattfindet; die durch die Zersetzung frei werdende Electricität kreist also in derselben Richtung durch den Aparat, in welcher die durch die metallische Berührung erzeugte Electricität kreist, muß also die letztere verstärken; z. B. in den einzelnen Zellen geht die + E vom Zink durch die Säure zum Kupfer; in derselben Richtung wandern auch die Wasserstofftheilchen mit ihrer + E.

3) Wird der Strom durch mehrere Zerlegungszellen geleitet, welche zerlegbare Körper enthalten, so verhalten sich die Quantitäten der durch

den Strom ausgeschiedenen Elemente, wie die chemischen Aequivalente derselben.

Faraday zersetzte z. B. mittelst einer galvanischen Batterie, welche aus Kupfer, chemisch reinem Zink und verdünnter Schwefelsäure construirt war, Wasser, und fand, daß für jeden Gewichtstheil Wasserstoff, welcher zwischen den Polplatten frei wurde, sich in jeder Zelle 32,3 Gewichtstheile Zink zersetzt hatten. Es verhalten sich aber die Gewichte der chemischen Aequivalente von Wasserstoff und Zink zu einander, wie 12,48 zu 403,32, d. i. wie 1 : 32,3. Auf jedes Aequivalent Wasserstoff, welches zwischen den Polplatten und also auch in jeder Zerlegungszelle entwickelt war, kam also in jeder Zelle ein Aequivalent Zink. Oder: Wenn vier Schälchen Wasser, Chlorsilber, Chlorblei und Chlorzinn enthalten (alle in flüssigem Zustande), und man leitet den electrischen Strom hindurch, indem man je zwei durch einen Platindraht verbindet, so verhalten sich die an den negativen Polen ausgeschiedenen Mengen Wasserstoff, Silber, Blei und Zinn wie 1 : 108 : 103,6 : 57,9 und an den positiven Polen Sauerstoff und Chlor wie 8 : 35,4.

Was ist chemisches Aequivalent? Daraus folgt, daß die chemischen Aequivalente diejenigen Gewichte der Stoffe bezeichnen, welche in Berührung mit ein und demselben Elemente gleich starke Electricität annehmen.

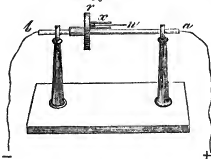
Electromagnetismus.

§ 167. **Wirkung des electrischen Stromes auf einen Magneten und auf weiches Eisen.** Im Jahre 1820 fand Oerstedt, Professor in Kopenhagen, daß ein Draht, durch welchen ein electrischer Strom geht, die Magnetnadel ablenkt (die ruhende Electricität wirkt nicht auf die Nadel); der Leitungsdraht äußert also eine magnetische Kraft. Für diese hat man folgende Gesetze gefunden:

Ablenkung der Magnetnadel durch den electrischen Strom. 1) Wird ein Strom neben, über oder unter einer freischwebenden Magnetnadel vorbeigeführt, so wird diese so abgelenkt, daß sie sich senkrecht auf die Richtung des Stromes stellt, und zwar wird bei allen Stellungen der Nadel der eine Pol in gleichem Sinne abgelenkt.

Die Nadel stellt sich zwar nicht ganz senkrecht, aber doch desto genauer senkrecht, je stärker der Strom ist, weil der Erdmagnetismus sie in ihre ursprüngliche Lage zurückzuziehen strebt. Das Gesetz läßt sich vermittelst folgender Vorrichtung nachweisen.

Fig. 165.



(Fig. 165.) ab ist ein horizontal auf zwei Stäben ruhender isolirter Kupferstab, auf welchem eine Holzscheibe (r) steckt. Diese trägt eine Gabel x, zwischen welcher eine Magnetnadel n sich

bewegt. Stellt man nun ab in den magnetischen Meridian, so daß die Nadel ihm parallel steht, und man leitet einen electrischen Strom hindurch, so stellt sich die Nadel senkrecht auf den Strom und ihre Pole behalten dieselbe Richtung bei, wenn man sie mittelst des Holzringes rings um den Kupferstab herumdreht.

Die Erscheinung tritt auch ein, wenn ab nicht im magnetischen Meridian steht.

2) Die Richtung der Pole erhält man für jede Stellung der Nadel zum Leitungsdrahte nach Ampère auf folgende Weise:

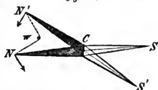
Ampère'sche Regel.

Denkt man sich eine menschliche Figur so in den Draht eingeschaltet, daß der positive Strom von den Füßen nach dem Kopfe geht, und die Figur mit dem Gesicht nach der Nadel hingewendet ist, so hat sie den Nordpol zur Linken.

Hieraus ergiebt sich: Der Leitungsdraht wirkt so auf die Nadel, als ob ein magnetischer Strom um ihn herumginge, dessen nordpolare Richtung nach der Seite geht, nach welcher der Nordpol der Nadel gestoßen wird.

3) Ein vertical bei einer Declinationsnadel vorbeigehender Strom zieht das Nordende derselben an, oder stößt es ab, je nachdem er auf der einen oder der andern Seite desselben vorbeigeht. Ob er angezogen oder abgestoßen wird, ergiebt sich ebenfalls aus der Ampère'schen Regel.

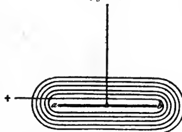
Fig. 166.



In Fig. 166 sei NS eine Declinationsnadel, N ihr Nordpol, w ein verticaler Leitungsdraht, in welchem der positive Strom von unten nach oben geht, so wird der Nordpol bei der Lage NS abgestoßen; denn die in w stehende Figur zeigt, wenn sie in der Linie wN nach dem Nordpole hinsieht, mit der Linken in der Richtung des bei N stehenden Pfeiles. In der Stellung N'S' wird der Nordpol angezogen, wie sich auf dieselbe Weise ergiebt.

Schweigger's Multiplicator

Fig. 167.



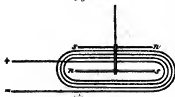
4) Die Wirkung des Stromes auf die Magnetnadel wird verstärkt, wenn man den Leitungsdraht in vielen Windungen über und unter der Nadel herumführt, wie Fig. 167 zeigt.

Denn jede einzelne Windung wirkt auf die Nadel, und die über der Nadel befindlichen Windungen lenken den Nordpol nach derselben Seite hin, wie die unter ihr befindlichen.

Eine solche Vorrichtung heißt Multiplicator oder Galvanometer, und dient dazu, das Vorhandensein sehr schwacher galvanischer Ströme nachzuweisen.

Von Schweigger und Poggendorff 1820 erfunden.

Fig. 168.



Bei weitem empfindlicher ist der Apparat, wenn zwei Magnetnadeln (Fig. 168.) von gleicher magnetischer Kraft so mit einander verbunden sind, daß die gleichnamigen Pole entgegengesetzte Richtung haben, und die eine Nadel zwischen, die andere über den Windungen sich befindet.

Denn 1) die Wirkung des Erdmagnetismus auf diese Nadeln ist fast ganz aufgehoben, und zwar desto mehr, je näher die magnetische Kraft der Nadeln einander gleich ist, und 2) summirt sich die Wirkung des Stromes auf beide Nadeln.

Der galvan. Strom macht Eisen zum Magneten.

Fig. 169.



5) Windet man einen Kupferdraht isolirt auf einen Stab von weichem Eisen, und führt einen electrischen Strom durch ersteren, so wird der Stab magnetisch, und zwar erhält man die Lage des Nordpols nach der Ampère'schen Regel (Fig. 169.).

Der Magnetismus des Stabes verschwindet, sobald der electrische Strom aufhört. Ein Stahlstab behält den Magnetismus.

Electromagnet.

Erklärung. Ein durch einen electrischen Strom magnetisch gemachter Stab von weichem Eisen heißt Electromagnet.

Anstatt den Draht unmittelbar um das Eisen zu winden, kann man auch einen mit Seide umsponnenen Draht auf einen hohlen Holzcylinder wickeln, und den Eisenstab in die Höhlung desselben legen.

Mit einer Spirale von 800 — 1000 Windungen, deren Draht ½ bis 1 Linie dick ist, erhält man ungemein kräftige Magnete. Daher wendet man eine solche Spirale zur Erzeugung künstlicher Magnete an, indem man den zu magnetisirenden geraden oder zu einem Hufeisen geformten Stahlstab zwischen derselben hin- und herschiebt, oder noch besser, indem man einen kräftigen Electromagneten erzeugt, und mit dessen Polen den zu magnetisirenden Stahlstab in der bekannten Weise streicht.

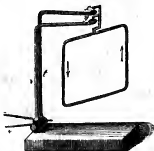
§ 168. Wirkung eines Magneten auf einen electrischen Strom.

Aus Nr. 1, 2 und 3 des vorigen Paragraphen folgt von selbst:

Richtung eines Stromes durch einen Magneten.

1) Wenn man einem electrischen Strome, welcher freie Bewegung hat, einen Magneten nähert, so stellt sich der Strom gegen den Magnet so, daß beide dieselbe gegenseitige Lage haben, wie in dem Falle, wo der Strom fest und der Magnet beweglich ist.

Einem Strome kann man auf folgende Weise freie Bewegung geben: In umst. Fig. 170 sind v und t zwei Kupferstäbe, an deren Enden zwei Quecksilbernäpfchen x und y genau vertical unter einander befestigt sind (das Ampère'sche Gestell). In einem dieser Quecksilbernäpfchen ruht auf einer Stahlspitze ein zu einem Viereck gebogener Leitungsdraht, während die an dem andern Ende


Fig. 170.

des Leitungsdrahtes angebrachte Spitze blos in das Quecksilber des andern Näpfchens eintaucht.

Hält man nun einen Magnetstab so unter das Viereck, daß er parallel der unteren Seite desselben liegt, und führt dann einen galvanischen Strom durch letzteres, so stellt es sich nach der Ampère'schen Regel.

2) Ein verticaler Strom wird von dem Pole eines horizontal gehaltenen Magneten bald angezogen, bald abgestoßen, je nachdem man diesen auf die eine oder die andere Seite des Stromes hält. Ob er angezogen oder abgestoßen wird, ergiebt sich wie bei Nr. 3 des vorigen Paragraphen aus der Ampère'schen Regel.

Die Erscheinung läßt sich an demselben Apparate nachweisen.

Hiernach muß auch der Erdmagnetismus richtend auf einen beweglichen Strom wirken. Wirkung des Erdmagnetismus auf einen beweglichen Strom.

Der Erdmagnetismus wirkt auf den Strom als ein unter demselben, in dem magnetischen Meridiane, mit dem Südpole nach Norden liegender Magnet.

Das Viereck (Fig. 170.) stellt sich also senkrecht auf den magnetischen Meridian, und zwar die Seite desselben, in welcher der positive Strom aufsteigt, nach Westen.


Fig. 171.

Hängt man demnach einen schraubenförmig gewundenen Draht (Solenoid) (Fig. 171.) an dem Ampère'schen Gestell auf, so muß er sich wie eine Magnetnadel in die Ebene des magnetischen Meridians stellen, und zwar so, daß die Windungen, in welchen der Strom aufsteigt, nach Westen gerichtet sind. Ein in die Höhlung der Windungen gelegter Eisenstab würde nach Nr. 5 des vorigen Paragraphen durch den Strom an dem nach Norden gewandten Ende nordmagnetisch werden.

Ein solcher Schraubendraht zeigt auch dieselbe Anziehung und Abstoßung, wie eine Magnetnadel, wenn man seinen Enden den Pol eines Magneten nähert.

§ 169. Wirkungen galvanischer Ströme auf einander. Da galvanische Ströme magnetische Wirkungen zeigen, so läßt sich leicht vermuthen, daß sie auf einander anziehend oder abstoßend wirken müssen. Die Erfahrung lehrt:

1) Parallele Ströme von gleicher Richtung ziehen sich an, solche von entgegengesetzter stoßen sich ab. Wirkung paralleler Ströme auf einander.

In ersterem Falle hat der um die beiden Leitungsdrähte kreisende magnetische Strom an den anliegenden Seiten derselben entgegengesetzte, im zweiten Falle gleiche Richtung.

Fig. 172.



Fig. 173.



Fig. 172 stelle die Durchschnitte zweier paralleler Leitungsdrähte dar, welche den positiven Strom auf den Beschauer zuführen, so geben die Pfeile die Richtung des magnetischen Südstroms.

In Fig. 173. geben die Pfeile die Richtung des Südstromes an, wenn in dem Drahte links der positive galvanische Strom auf den Beschauer zu, in dem rechts vom Beschauer abwärts geht.

Das obige Gesetz läßt sich an dem Apparate Fig. 170 zeigen. Nähert man der Seite des Vierecks, in welchem der Strom aufsteigt, einen andern aufsteigenden Strom, so findet Anziehung statt. Die andere Seite des Vierecks wird von einem aufsteigenden Strome abgestoßen.

Wirkung gekreuzt. Ströme auf einander. 2) Gekreuzte Ströme stellen sich bei freier Bewegung parallel, und zwar so, daß sie sich dann nach einerlei Richtung bewegen, oder was dasselbe ist:

Die Theile des Leitungsdrahtes, in welchen sich der Strom zugleich nach dem Kreuzungspunkte hin oder zugleich von demselben ab bewegt, ziehen sich an; diejenigen, in welchen die Bewegung des Stromes in Beziehung auf den Kreuzungspunkt entgegengesetzt ist, stoßen sich ab.

Fig. 174.



In Figur 174 ziehen sich rb und rd an, ebenso cr und ar, aber es stoßen sich cr und rb, ar und rd ab.

Die Erscheinung läßt sich an folgendem Apparate zeigen: (Fig. 175.) Durch ein längliches Viereck, welches durch mehrere Windungen von übersponnenem Drahte gebildet wird und an zwei Stäben befestigt ist, wird ein galvanischer Strom geleitet. Zwischen diesem bewegt sich ein eben solches Viereck auf einer Spitze, ähnlich wie eine Magnetnadel, dessen Drahtenden in zwei mit Quecksilber gefüllte Rinnen tauchen, welche mit den Polen einer galvanischen Kette in Verbindung stehen.

Fig. 175.



Der Magnet wirkt fast wie ein spiralförmiger Strom. § 170. Da ein schraubenförmig gewundener Strom (das Solenoid) fast alle Eigenschaften eines Magneten besitzt, so kann man sich jeden Magneten als einen Körper vorstellen, welcher von einem galvanischen

Strome umkreist wird, dessen Richtung man nach der bekannten Ampère'schen Regel findet.

Hält man nämlich den Magneten horizontal so vor sich hin, daß man den Nordpol zur Linken hat, so ist der Strom auf der Seite des Magneten, auf welcher man steht, aufsteigend.

Nach dieser Ansicht ziehen sich die entgegengesetzten Pole eines Magneten, gegen einander gehalten, an, weil der Strom an ihnen gleiche Richtung hat; die gleichnamigen stoßen sich ab, weil der Strom, wenn man sie gegen einander hält, entgegengesetzte Richtung hat.

Auch läßt sich nach derselben leicht erklären, warum man durch Zerbrechen eines Magneten an der Bruchstelle einen Süd- und einen Nordpol erhält.

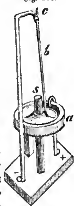
Ferner kann man sich den Erdmagnetismus als Wirkung eines um die Erde kreisenden electrischen Stromes denken, welcher, da der magnetische Südpol in Norden liegt, die Erde von Osten nach Westen umströmt. Ebenso ergeben sich aus der obigen Betrachtungsweise die folgenden Rotations-Erscheinungen.

§ 171. **Rotation beweglicher Magnete und Ströme.** Wenn sich ein galvanischer Strom und der um einen Magneten fingirte Strom kreuzen, und einer derselben ist fest, der andere aber beweglich, so läßt sich durch eine entsprechende Anordnung eine Rotation des beweglichen Stromes um den festen hervorbringen. Rotation beweglicher Magnete und Ströme.

Einer von den vielen zu diesem Zwecke construirten Apparaten ist folgender:

a (Fig. 176.) ist ein kreisrundes, hölzernes mit Quecksilber gefülltes Näpfchen, in dessen Mitte vertical ein Magnet (s) steckt, b ist ein Kupferdraht, welcher in dem Haken c senkrecht über dem Magneten hängt und mit einer Platinspitze in das Quecksilber taucht. Leitet man nun einen galvanischen Strom durch b, indem man den positiven Poldraht mit dem Quecksilber, den negativen mit dem Haken c in Verbindung setzt, so rotirt der Draht b um den Magneten, und zwar, wenn der Südpol desselben oben steht, in der Richtung von Süd nach Ost, Nord, West.

Fig. 176.



Der um den Magneten kreisende Strom bewegt sich, da der Südpol oben steht, nach der Ampère'schen Regel von Süd nach West, Nord, Ost; der durch den Draht b geleitete Strom steigt von unten nach oben. Die beiden Ströme kreuzen sich also und haben daher nach § 169, 2 das Bestreben, sich parallel nach einerlei Richtung zu stellen. Steht demnach der Draht b südwärts vom Magneten, so hat er das Bestreben, sich horizontal zu stellen, und zwar mit dem oberen Ende nach Westen, mit dem untern nach Osten. Da aber der Draht oben fest gehalten wird, so muß die Spitze nach Osten gehen, von dort, wie sich auf dieselbe Weise folgern läßt, nach Norden u. s. w.

In einem Apparate, in welchem der galvanische Strom fest, der Magnet beweglich ist, rotirt der letztere um ersteren.

Inductions-Erscheinungen.

Ein Inductionsstrom wird erzeugt: 1) durch einen Leitungsdraht in einem andern geschlossenen Drahte;

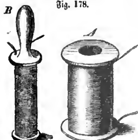
§ 172. In ähnlicher Weise, wie ein Magnet in Eisen Magnetismus, ein electrischer Körper in andern Körpern Electricität erregt, so erregt auch ein electrischer Strom in einem benachbarten Leiter einen electrischen Strom.

Fig. 177.



Sind auf eine Holzspule (Fig. 177.) zwei mit Seide umsponnene Drähte a c und b d aufgewickelt, und man verbindet a und c mit den beiden Enden eines Multiplicators, so zeigt in dem Augenblicke, in welchem man b und d mit den Poldrähten einer galvanischen Kette verbindet, die Nadel des Multiplicators einen entgegengesetzten, in dem Augenblicke, in welchem man den Hauptstrom unterbricht, einen gleichen Strom in dem Drahte a c an, kehrt aber jedesmal gleich wieder in ihre natürliche Lage zurück.

Fig. 178.



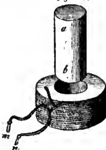
Dieselbe Erscheinung zeigt sich, wenn die beiden Drähte auf zwei verschiedene Cylinder A und B (Fig. 178.) aufgewickelt sind, und man den einen B in die Höhlung des andern A steckt. Wenn der eine Draht ununterbrochen mit den Polen einer galvanischen Kette in Verbindung bleibt, so bringt das Hineinstecken dieselbe Wirkung hervor, wie im vorigen Versuche das Schließen des Hauptstromes, das Herausziehen dieselbe, wie das Unterbrechen desselben.

1) Ein galvanischer Strom erzeugt demnach in einem neben ihm liegenden geschlossenen Drahte im Augenblicke seines Entstehens einen ihm entgegengesetzten, im Augenblicke seines Aufhörens einen gleichen Strom.

2) durch einen Magneten in einem geschlossenen Drahte;

Aber diese erzeugten Ströme dauern nur einen Augenblick. Sie heißen **inducirte Ströme**.

Fig. 179.



Auch der um einen Magneten kreisende fingirte Strom erzeugt Inductionsströme.

Denn verbindet man die beiden Enden einer Drahtspirale m und n (Fig. 179.) mit den Drahtenden eines Galvanometers, und man schiebt einen Magnetstab ab in die Höhlung der ersteren, so zeigt die Nadel des Galvanometers beim Hineinschieben des Magneten einen Inductionsstrom an, welcher mit dem um den Magneten kreisenden fingirten Strome entgegengesetzte Richtung hat, kehrt aber sogleich wieder in ihre natürliche Lage zurück.

Sobald man den Magneten herausnimmt, weicht die Magnetnadel nach der andern Seite ab.

Dieselbe Erscheinung tritt ein, wenn man einen hufeisenförmigen Stab weichen Eisens mit einer Spirale umgiebt, deren Enden mit einem Galvanometer verbindet, und in dem Eisen Magnetismus bald hervorruft, bald wieder verschwinden läßt, indem man die Pole eines Hufeisenmagneten den Enden des weichen Eisens bald nähert, bald entfernt.

2) Der um einen Magneten kreisende fingirte Strom erzeugt demnach Inductionsströme in derselben Weise, wie jeder andere galvanische Strom.

Schließt man eine einfache Kette durch einen kurzen Draht und öffnet sie dann wieder, so erhält man einen schwachen Funken, und merkt, wenn man dabei in jeder Hand eines der beiden Enden des Verbindungsdrahtes hält, keinen Schlag. Man fühlt aber einen solchen, und erhält einen großen Funken, wenn der Verbindungsdraht eine Spirale mit sehr vielen übereinander liegenden Windungen ist.

3) durch einen Leitungsdraht in seinen eigenen Windungen;

Man folgert daraus:

3) Jede Windung einer stromführenden Spirale erzeugt in den nebenliegenden Windungen derselben Spirale beim Schließen und beim Oeffnen einen Inductionsstrom, und zwar beim Schließen einen entgegengesetzten, beim Oeffnen einen gleichgerichteten Strom. Ersterer schwächt, letzterer verstärkt die Wirkung des Hauptstromes.

Daher erhält man nur beim Oeffnen, nicht beim Schließen der Kette einen Schlag.

Die auf diese Weise erzeugten Inductionsströme heißen **Extraströme.**

Die Wirkung wird noch größer, wenn man in die Höhlung der Spirale einen Eisenstab, oder noch besser, ein Bündel dünner Eisenstäbe steckt.

4) durch einen Electromagneten in dem ihn erzeugenden Leitungsdrahte.

Daraus schließt man:

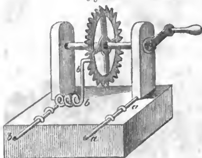
4) Jeder Electromagnet wirkt auf die seinen Magnetismus erzeugende Spirale im Momente des Schließens und Oeffnens der letztern inducirend auf diese.

Die inducirten Ströme entdeckte Faraday (1831).

§ 173. **Wirkungen der Inductionsströme.** Die inducirten Ströme zeigen alle Wirkungen der gewöhnlichen galvanischen Ströme, besonders aber starke physiologische, namentlich, wenn man das Schließen und Unterbrechen des Hauptstromes schnell und oft auf einander folgen läßt.

Ein solches schnell abwechselndes Unterbrechen und Schließen läßt sich durch das sogenannte Unterbrechungsrad bewerkstelligen: Das Rad

Fig. 180.

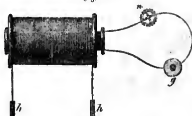


(Fig. 180.), seine Achse und die Pfeiler, auf denen diese ruht, sind von Messing. Der Draht b federt gegen das Rad, der Draht a steht mit dem einen Messingpfeiler in Verbindung. Schaltet man nun das Rad vermittelst der Drähte a und b in den Schließungsdraht eines galvanischen Apparates ein, so wird der Strom so oft unterbrochen, als der Draht b von einem Zahne auf den andern übergeht.

Wirkungen des durch einen Leitungsdraht erzeugten Inductionsstromes.

1) Um die Wirkungen der durch einen galvanischen Strom in einer nebenliegenden Spirale erzeugten Inductionsströme zu zeigen, steckt man die Spirale B (Fig. 178.) in die Spirale A, verbindet die Enden der ersteren mit einer galvanischen Kette und schaltet das Unterbrechungsrad in den Schließungsdraht derselben so ein, wie es die Fig. 181 zeigt, wo g die Kette, n das Unterbrechungsrad bezeichnet. Faßt man nun die beiden Metallcylinder h h mit den Händen, so geht der Inductionsstrom durch den Körper.

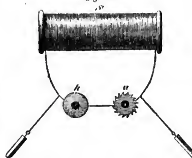
Fig. 181.



Wirkungen des Extrastromes.

2) Um electrische Schläge des Extrastromes durch den Körper zu führen, werden das Unterbrechungsrad u und die Metallcylinder in der Weise mit der galvanischen Kette h und der Spirale S verbunden, wie es Fig. 182 zeigt.

Fig. 182.



Wirkungen des durch einen Magneten erzeugten Inductionsstromes.

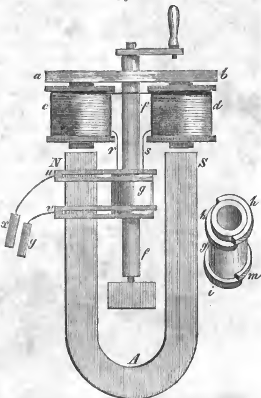
3) Die Wirkungen der durch einen Magneten hervorgerufenen Inductionsströme treten besonders bei dem Stöhrer'schen Apparate hervor, dessen wesentliche Theile folgende sind:

In umst. Fig. 183 ist NAS ein starker Hufeisenmagnet. Ganz nahe über seinen Polen N und S stehen zwei Eisencylinder, welche auf der Eisenplatte ab befestigt sind, und die zwei Holzspulen mit einer Inductionsspirale c und d tragen. Die Spirale ist so um die beiden Holzspulen gewunden, daß, wenn man sich letztere nicht unter der Platte ab, sondern an die Punkte a und b angesetzt denkt, ihre Windungen einerlei Richtung haben. Die Platte ab ist an einer Welle (f)

Electromagnetischer Rotations-Apparat von Stöhrer.

befestigt, vermittelst deren sie gedreht werden kann, so daß jeder der Eisencylinder c und d bei jeder Umdrehung einmal über dem Nordpole und einmal über dem Südpole steht. Auf der Achse f stecken zwei in einander geschobene, aber durch eine Buchsbaumröhre von einander isolirte Messingröhren, g, von denen die äußere kürzer als die innere ist, so daß von letzterer oben und unten ein Theil hervorragt. Mit der innern ist das eine Drahtende der Inductionsspirale, r, mit der äußern das andere Ende, s, leitend verbunden. Jede der Messingröhren (s. die kleinere Figur) trägt auf ihrem Umfange zwei halbe einander gegenüberstehende Stahlringe, die innere die halben Ringe h und i, die äußere die Ringe k und m. Auf diesen Ringen schleifen zwei gabelförmige Stahlfedern, u und v. Diese Röhrenverbindung heißt Commutator. Bei jeder Stellung der Achse ist nun stets die eine dieser Federn mit der einen, die andere mit der anderen Messingröhre in Verbindung, so daß u und v die beiden Enden der Inductionsspirale bilden, und der Inductionsstrom durch den zwischen x und y eingeschalteten Körper geht. Nach jeder halben Umdrehung geht aber jede der Federn von der einen Messingröhre auf die ander über, und da der Commutator so gestellt ist, daß dieser Wechsel in dem Momente eintritt, wo die Richtung des Inductionsstromes wechselt, so geht der Strom durch den zwischen x und y eingeschalteten Körper immer in derselben Richtung hindurch.

Fig. 183.



Die beiden Drähte x und y bringen alle Wirkungen hervor, wie die Poldrähte einer galvanischen Kette. Da aber die durch den Apparat erregten Inductionsströme an Stärke allmählich zu- und abnehmen, solche langsam wachsende Ströme aber nur schwache physiologische Wir-

kungen hervorbringen, so muß für eine plötzliche Unterbrechung des Stromes gesorgt sein. Und diese wird an unserm Apparate dadurch bewirkt, daß die beiden Paare der halben Stahlringe des Comnutators etwas übereinandergreifen. Jede der Federn u und v stehen dadurch einen Augenblick mit beiden Messingröhren in Verbindung; der Strom ist also geschlossen, ohne durch x und y zu gehen. In dem Augenblicke aber, wo die eine Hälfte jeder Feder den einen Stahlring verläßt, nimmt der Strom wieder seinen Weg durch x und y. Um eine recht schnelle Umdrehung der Achse zu erreichen, setzt man dieselbe nicht, wie die Figur zeigt, durch eine einfache Kurbel, sondern durch einen Schnurlauf in Bewegung, welcher über ein großes Rad geht.

Wirkungen des galvanischen Stromes auf das Licht.

§ 174. Diamagnetismus. Ein electrischer Strom bringt, wie Faraday nachgewiesen hat (1845), nicht nur auf einen neben ihm liegenden geschlossenen Draht, sondern auch auf andere in seiner Nähe befindlichen Körper gewisse Wirkungen hervor.

1) Führt man einen sehr starken electrischen Strom um eine durchsichtige Flüssigkeit, so zeigt diese eine besondere Einwirkung auf polarisirtes Licht.

Fig. 184.

In Fig. 184 ist c eine an beiden Enden mit Glasplatten verschlossene Röhre, welche die zu untersuchende Flüssigkeit enthält, und um welche in sehr vielen Windungen eine Magnetisirungsspirale gewickelt ist; f und g sind zwei Nichol'sche Prismen, welche nur ein polarisirtes Bild geben. Stellt man nun das Ocularprisma so, daß, wenn man nach einer Lichtflamme sieht, das Gesichtsfeld dunkel erscheint, und führt dann einen kräftigen electrischen Strom durch die Spirale, so erscheint das Licht wieder, und man muß das Ocularprisma nach links oder rechts drehen, um es wieder verschwinden zu machen.

Eine Flüssigkeit, welche der Einwirkung eines electrischen Stromes ausgesetzt ist, dreht also die Polarisations-Ebene eines Lichtstrahles aus ihrer Lage.

Ebenso wird die Polarisations-Ebene eines Krystalles um 90° herumgedreht, wenn man ihn zwischen die Pole eines starken Electromagneten bringt.

auf jeden beliebigen Körper.

2) Hängt man an einem langen Coconfaden ein Stäbchen von irgend einer Materie so auf, daß es zwischen den Polen eines starken Electromagneten horizontal schwebt, so stellt es sich entweder wie ein Eisenstab so, daß es mit der Verbindungslinie der beiden Pole zusammenfällt, oder es stellt sich senkrecht auf diese Linie.

Die Körper der ersten Art nennt Faraday ferromagnetisch, die der

zweiten diamagnetisch. Ferromagnetisch sind außer Eisen nur einige wenige Metalle, alle übrigen Körper sind diamagnetisch. Die Stellung der ferromagnetischen Körper ist Folge der Anziehung, die der diamagnetischen, Folge der Abstoßung.

Denn wenn man z. B. ein Wismuthkügelchen an den Coconfaden hängt, so wird es auf die Seite gestoßen.

Jeder Körper wird also von den Polen eines Electromagneten entweder angezogen oder abgestoßen.

Aus diesen Erscheinungen schließt Faraday, daß der electrische Strom in jedem Körper eine dauernde Veränderung hervorbringe, und daß die Inductionsströme nur eine das Eintreten und Aufhören eines veränderten Zustandes begleitende Erscheinung seien.

Anwendungen des Electromagnetismus.

§ 175. **Der electrische Telegraph.** Um von dem Orte A nach dem Orte B zu telegraphiren, ist in A eine galvanische Batterie aufgestellt; die beiden Poldrähte sind bis nach B geführt und stehen dort mit den beiden Enden der Spirale eines hufeisenförmigen Electromagneten in Verbindung. Sobald die Batterie in A geschlossen wird, zieht der Electromagnet den Anker an, welcher dicht über den Polen an dem einen Arme eine Hebels hängt. Sobald die Verbindung der Batterie in A unterbrochen wird, zieht eine an dem andern Arme des Hebels angebrachte Feder diesen in seine vorige Lage zurück. Allgemeines Princip des galvanischen Telegraphen.

Anstatt zweier Drähte braucht aber nur ein Draht von A nach B geführt zu werden; der andere wird durch den feuchten Erdboden ersetzt, indem man in A an dem einen Poldrahte und in B an dem einen Ende der Spirale des Electromagneten eine Metallplatte befestigt und diese in den feuchten Erdboden versenkt.

Eine in A befindliche Person ist nun im Stande, durch abwechselndes Schließen und Unterbrechen der Batterie in A, den Hebel im Orte B nach Belieben auf- und abzubewegen und dadurch dem in B aufgestellten Beobachter Zeichen zu geben.

Die Zeichen in B werden durch einen Apparat ausgeführt, welcher nach demselben Princip wie eine Pendeluhr construirt ist. Einrichtung d. Zeigertelegraphen.

Mit der Welle k (s. umst. Fig. 185.), an welcher der Hebel c befestigt ist, ist zugleich der Graham'sche Haken g verbunden, der sowohl beim Anziehen des Ankers als beim Losreißen desselben dem mit 13 Zähnen versehenen Rade r gestattet, um einen halben Zahn fortzurücken. Das Rad r wird aber durch das Rad s in Bewegung gesetzt, welches von dem Gewichte p getrieben wird. Das Rad r trägt an seiner Welle einen Zeiger, welcher sich über dem Zifferblatte (siehe umst. Fig. 186.) bewegt. Ausführung d. Zeichen.

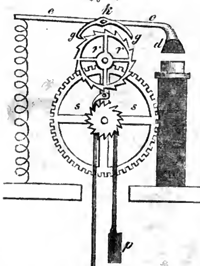


Fig. 185.



Fig. 186.

Durch Schließen und Unterbrechen der galvanischen Batterie im Orte A läßt sich nun der Zeiger auf jeden beliebigen Buchstaben stellen. Z. B. durch 3maliges Schließen und Unterbrechen rückt der Zeiger um 6 Buchstaben fort.

Veranlassung der Zeichen.

Um mit Sicherheit im Orte A die Zeichen veranlassen zu können, ist der von A nach B führende Draht in A unterbrochen, und das eine Drahtende mit einem Metallringe in Verbindung gesetzt, welcher 13 senkrecht auf seiner Ebene stehende metallene Knöpfe trägt. Diese 13 Knöpfe ragen durch ein Zifferblatt hindurch, welches auf den Ring gesetzt und in derselben Weise wie Fig. 186 bezeichnet ist, und zwar befindet sich der erste Knopf unter dem Buchstaben A, der zweite unter C, der dritte unter E u. s. w. Das andere Drahtende steht mit dem metallenen Zeiger in Verbindung, welcher sich über dem Zifferblatte so bewegt, daß er beim Umdrehen die Metallknöpfe des Ringes schleifend berührt.

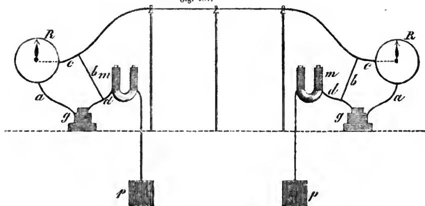
So oft nun der Zeiger einen solchen Metallknopf berührt, wird die Kette geschlossen, so oft er ihn verläßt, unterbrochen. Um so viele Buchstaben daher der Zeiger im Orte A fortgerückt wird, um eben so viele bewegt sich auch der im Orte B fort. Stehen also beide zu Anfang auf dem zwischen den Buchstaben A und Z befindlichen leeren Felde, so stellt sich der Zeiger im Orte B immer auf denselben Buchstaben, auf welchen der im Orte A gedreht wird.

Welche Abänderung muß der ganze beschriebene Apparat erleiden, wenn die beiden Zifferblätter außer den 25 Buchstaben auch noch die 10 Ziffern von 0—9 erhalten sollen?

Draht-Verbindung zwischen 2 Stationen.

Die Verbindung zwischen zwei Stationen ist durch umst. Fig. 187 dargestellt. Es stellt g die galvanische Batterie, R den Metallring mit dem Zifferblatte, m den Electromagneten, p die in die Erde gesenkte Metallplatte dar. Der Draht a verbindet den Metallring mit dem positiven Pole der Batterie, der Draht c den Zeiger mit dem Hauptleitungsdrahte, der Draht d den Electromagneten mit dem negativen Pole. So lange nicht telegraphirt wird, stehen die Zeiger der Appa-

Fig. 187.

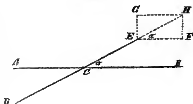


rate R und der mit den Electromagneten in Verbindung stehenden Apparate zwischen den Buchstaben Z und A, wobei keine Verbindung zwischen dem Ringe und dem Zeiger stattfindet. Auf der Station, von welcher aus telegraphirt werden soll, muß die Verbindung b unterbrochen und der mit m in Verbindung stehende Apparat außer Thätigkeit gesetzt werden.

§ 176. Die Ablenkung der Magnetnadel durch den electrischen Strom hat man benutzt, um die Stärke electrischer Ströme mit einander zu vergleichen. Messung der Stärke galv. Ströme.

Bei gleichem Abstande von der Magnetnadel ist nämlich die Stärke des Stromes dem Ablenkungswinkel der Magnetnadel proportional.

Fig. 188.



Beweis. AB (Fig. 188.) sei die Richtung des magnetischen Meridians und zugleich die des electrischen Stromes, α der Winkel, um welchen die Magnetnadel von ihrer natürlichen Stellung abgelenkt wird. Die abstoßende Kraft des Stromes wirkt in der Richtung EG, die Kraft des Erdmagnetismus in der Richtung EF, die Resultirende muß die Richtung EH haben; folglich stellen die Linien EG, EF und EH durch ihre Längen das Verhältniß der genannten Kräfte dar.

Nun ist $\frac{HF}{EF} = tg\alpha$; folglich, wenn man die Stärke des Erdmagnetismus durch M, die abstoßende Kraft des Stromes durch K bezeichnet: $\frac{K}{M} = tg\alpha$, also $K = M tg\alpha$. Ist dann die Stärke eines andern Stromes $= K'$ und der Ablenkungswinkel für ihn $= \alpha'$, so ist $K' = M tg\alpha'$, folglich:

$$\frac{K}{K'} = \frac{tg\,\alpha}{tg\,\alpha'}.$$

Tangenten-Bussole.

Zur Messung des Ablenkungswinkels bedient man sich der sogenannten Tangentenbussole, d. i. eine kleine Bussole (eine Magnetnadel mit eingetheiltem Kreise), welche sich in der Mitte eines kreisförmigen vertical stehenden Kupferreifens befindet. Dieser Kupferring wird in die Ebene des magnetischen Meridians gestellt und ein electrischer Strom durch ihn geleitet.

Gesetze, welche mittelst des Galvanometers und der Tangentenbussole gefunden oder bestätigt sind.

Galvanische Polarisation.

§ 177. Galvanische Polarisation. Es wurde in § 161 angeführt, daß in der gewöhnlichen Volta'schen Kette der Strom dadurch sehr bald schwächer werde, daß sich die Kupferplatten mit Wasserstoffbläschen überziehen. Dieser Wasserstoffüberzug erregt nämlich in jeder Zerlegungszelle einen electrischen Strom, welcher dem Hauptstrome entgegengesetzt ist. Diese electromotorische Gegenkraft nennt man galvanische Polarisation.

Taucht man in gesäuertes Wasser zwei wohlgereinigte Platinplatten, und verbindet sie mit den beiden Drahtenden eines Galvanometers, so bleibt die Magnetnadel desselben in Ruhe; hat man aber die eine der Platinplatten zuvor in ein mit Wasserstoff gefülltes Gefäß getaucht, so zeigt das Galvanometer einen Strom an, welcher von der mit Wasserstoff überzogenen Platte durch das Wasser nach der andern Platte geht. Dieselbe Erscheinung zeigt sich, wenn die eine Platinplatte vorher als negative Platte eines Wasserzersetzungs-Apparates gedient hat.

Vergleichung des Galvanismus mit der Reibungs-Electricität.

§ 178. Vergleichung des Galvanismus mit der Reibungs-Electricität. Die Uebereinstimmung in den Wirkungen des Galvanismus und der durch die Electrisirmaschine oder das Electrophor hervorgebrachten Electricität machen es unzweifelhaft, daß beide Kräfte identisch sind; nur daß die Electrisirmaschine eine größere Spannung, die galvanische Kette eine größere Quantität der Electricität liefert.

Denn während der Funke der Leydener Flasche eine Pappscheibe durchschlägt, durchbricht die Electricität einer galvanischen Batterie die trockne Oberhaut der Finger nur dann, wenn der Apparat aus einer großen Menge von Plattenpaaren besteht. Der Funken eines Conductors durchbricht eine viele Zoll dicke Luftschicht, der einer galvanischen Batterie springt nur in unmittelbarster Nähe über; dagegen bringen galvanische Apparate viel längere und dickere Drähte zum Glühen, als Leydener Flaschen, und außerdem dauert bei ersteren das Glühen so lange, als die Kette geschlossen ist, bei letzteren blos einen Augenblick. Ebenso zeigt die Magnetisirung des Eisens und die chemische Zersetzung eine bei weitem größere Quantität der Electricität bei der galvanischen Batterie, als bei der Leydener Flasche.

Man hat daher sehr treffend die Electrisirmaschine mit einer wasserarmen Quelle von hohem Gefälle, die galvanische Kette mit einer wasserreichen Quelle von niederem Gefälle verglichen.

Führe das Bild aus.

§ 179. Das Ohm'sche Gesetz. Man nimmt an, daß die Wirksamkeit eines electrischen Stromes von der Quantität der Electricität abhängt, welche den Schließungsbogen (und also auch den ganzen Apparat) in einer gegebenen Zeit durchströmt. Diese Menge ist aber offenbar desto größer, je mehr Electricität durch die einzelnen Elemente des Apparats erzeugt, und je schneller dieselbe fortgeleitet wird. Und diese Fortleitung geschieht wieder desto schneller: Das Ohm'sche Gesetz.

1) Je bessere Leiter der Schließungsbogen und die einzelnen Elemente des Apparates sind, oder, was dasselbe ist, je weniger Leitungswiderstand der Strom zu überwinden hat, und

2) mit je größerer Kraft die Electricität durch den Apparrt getrieben wird, d. h. je größer die Spannung der erzeugten Electricität, oder mit anderen Worten, die electromotorische Kraft ist.

Je weiter also die beiden Metalle einer Kette in der Spannungsreihe von einander stehen, desto stärker wirkt diese. Zink und Platin oder Kohle geben also den stärksten Strom.

Dieses Gesetz ist zuerst von Ohm aufgestellt und läßt sich kurz so aussprechen:

Die Stärke des electrischen Stromes ist der electromotorischen Kraft direct und dem Leitungswiderstande umgekehrt proportional.

D. i. $P = \frac{E}{W}$, wo P die Stromstärke, E die electromotorische Kraft und W den Leitungswiderstand bezeichnet.

Das Gesetz wurde von Ohm in Erlangen 1827 gefunden.

§ 180. Leitungsfähigkeit der Metalle und der Flüssigkeiten. Mit Hülfe der Tangentenbussole hat man im Allgemeinen gefunden, daß die Stromstärke einer galvanischen Batterie desto kleiner wird, einen je längern und dünnern Draht man als Schließungsbogen anwendet, und daß ein feuchter Leiter, in den Schließungsbogen eingeschaltet, die Stromstärke ungemein vermindert. Leitungsfähigkeit der Metalle und der Flüssigkeiten.

Daraus folgt, daß ein langer dünner Draht dem electrischen Strome einen größern Leitungswiderstand entgegensetzt, als ein kurzer, dicker, und daß die Flüssigkeiten bei Weitem schlechtere Leiter sind, als die Metalle.

Daher müssen die Flüssigkeitsschichten in der galvanischen Kette möglichst dünn gemacht werden. Durch Zusatz von Säure wird die Leitungsfähigkeit des Wassers vermehrt.

Ebenso hat man gefunden, daß verschiedene Metalle dem Strome einen verschiedenen Leitungswiderstand entgegensetzen, und zwar folgen die Metalle nach ihrer Leitungsfähigkeit so auf einander:

Silber, Kupfer, Gold, Zink, Eisen, Neusilber, Platin, Quecksilber,

wo Silber der beste, Quecksilber der schlechteste Leiter ist.

Daher benutzt man als Leitungsdrähte gewöhnlich Kupferdrähte.

Abhängigkeit der Stromstärke: von d. Menge der Plattenpaare.

§ 181. **Abhängigkeit der Stromstärke einer galvanischen Batterie von der Größe und der Menge ihrer Elemente.** Bezeichnet p die Stromstärke einer einfachen galvanischen Kette, e ihre electromotorische Kraft, w den Leitungswiderstand in der Kette selbst, w' den im Schließungsbogen, so ist nach dem Ohm'schen Gesetze: $p = \frac{e}{w + w'}$ und für eine Batterie von n solchen Elementen $P = \frac{ne}{nw + w'}$. Ist nun w' im Vergleich zu w sehr klein, so ist beinahe $p = \frac{e}{w}$ und $P = \frac{ne}{nw} = \frac{e}{w}$ also $P = p$, d. h.:

Wenn der Leitungswiderstand im Schließungsbogen sehr klein, z. B. wenn dieser ein kurzer, dicker Draht ist, so bringt eine ganze galvanische Batterie keine merklich größere Wirkung hervor, als ein einziges Plattenpaar derselben.

Wenn aber der Leitungswiderstand im Schließungsbogen sehr groß ist, z. B. wenn der letztere ein sehr langer oder sehr dünner Draht ist, oder wenn man einen flüssigen Körper eingeschaltet hat, so ist die Stromstärke desto größer, je mehr Plattenpaare die Batterie enthält.

Daher wendet man bei electromagnetischen Versuchen gewöhnlich nur ein Plattenpaar, zu physiologischen, chemischen und zu Glühversuchen galvanische Apparate von vielen Plattenpaaren an.

von der Größe der Plattenpaare.

Haben in der Formel $p = \frac{e}{w + w'}$ die Buchstaben dieselbe Bedeutung, wie oben, so ist für eine Kette, deren Platten n mal so groß sind, $P = \frac{e}{\frac{w}{n} + w'} = \frac{ne}{w + nw'}$ denn der Leitungswiderstand in der Kette selbst ist n mal kleiner, als in der ersten, indem der Leitungswiderstand einer Flüssigkeit, ebenso wie der der Drähte, sich in demselben Grade verringert, als der Querschnitt größer wird.

Ist nun w' fast gleich Null (der Schließungsbogen ein kurzer, dicker Draht), so ist beinahe $p = \frac{e}{w}$ und $P = \frac{ne}{w}$.

Die Stromstärke wird demnach durch Vergrößerung der Platten vergrößert, wenn der Leitungswiderstand im Schließungsdrahte sehr klein ist.

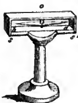
Die electromotorische Kraft wird durch Vergrößerung der Platten ebenso, wie durch einen größern Zusatz von Säure zur Flüssigkeit nicht vergrößert, sondern nur der Leitungswiderstand vermindert.

Thermo-Electricität und thierische Electricität.

Thermo-electr. Kette.

§ 182. Thermo-Electricität. Löthet man ein Wismuthstäbchen ss' (Fig. 189.) und einen Kupferstreifen sos' so zusammen, daß sie ein Viereck bilden, und man erwärmt die eine Löthstelle, so wird die zwischen diesen Metallen auf einer Spitze ruhende Magnetnadel ab, wenn sie parallel mit den beiden Metallstreifen stand, abgelenkt. Wird die andere Löthstelle erwärmt, so ist die Ablenkung der Nadel eine entgegengesetzte. Durch die Erwärmung einer der Löthstellen wird demnach ein electrischer Strom erzeugt.

Fig. 189.

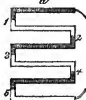


Aber nicht blos Wismuth und Kupfer, sondern je zwei beliebige Metalle zeigen, wenn sie in der beschriebenen Art verbunden sind, diese Erscheinung. Eine solche Verbindung heißt thermo-electrische Kette. Den stärksten electrischen Strom giebt eine Kette aus Wismuth und Antimon.

Thermo-electr. Säule.

Eine thermo-electrische Säule erhält man, wenn man mehrere Stäbchen Wismuth und Antimon so zusammenlöthet, wie Fig. 190 zeigt. Erwärmt man dann die durch die ungeraden Zahlen bezeichneten Löthstellen, so zeigt das mit den beiden Enden verbundene Galvanometer einen verstärkten electrischen Strom.

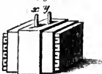
Fig. 190.



Eine sehr wichtige Anwendung hat Nobili (1834) von der thermo-electrischen Säule gemacht.

Es werden nämlich 30 Wismuth- und Antimonstäbchen in der vorhin angegebenen Weise so zusammengelöthet, daß sie ein viereckiges Bündel bilden, in welchem die 1ste, 3te, 5te Löthstelle auf der einen, die 2te, 4te, 6te auf der andern Seite liegen (Fig. 191.) Die Stäbchen berühren sich nur in den Löthstellen; alle Zwischenräume zwischen ihnen sind mit einer isolirenden Substanz ausgefüllt. Das Bündel wird durch eine isolirte messingene Fassung zusammengehalten, aus welcher die ebenfalls isolirten und mit dem ersten und letzten Stäbchen des Bündels in Verbindung stehenden Drähte x und y hervortreten. Werden diese Drähte mit einem Galvanometer in Verbindung gesetzt, so hat man das empfindlichste aller bekannten Thermometer; denn schon die Annäherung der Hand an die eine Seite des Bündels bringt einen Ausschlag der Nadel hervor.

Fig. 191.



Die thermo-electrischen Ströme hat Seebeck in Berlin 1821 entdeckt.

Electrische Fische.

§ 183. **Thierische Electricität.** Es giebt Fische, die, wie eine galvanische Batterie, electrische Schläge zu ertheilen im Stande sind. Die merkwürdigsten unter ihnen sind der im mittelländischen und im atlantischen Meere vorkommende Zitterrochen (Fig. 192), und der in den Landseen Süd-Amerikas lebende Zitteraal (Fig. 193).

Fig. 192.

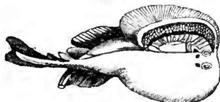


Fig. 193.



Fig. 194.



Das electrische Organ dieser Fische besteht aus einer großen Menge von Säulchen, deren jede aus übereinander geschichteten und durch klebrige Schleimschichten getrennten Blättchen zusammengesetzt und von einer sehnigen Haut umschlossen ist. Ihre Construction ist also der einer Volta'schen Säule sehr ähnlich. Fig. 194 stellt diese Säulchen von oben, Fig. 195 von der Seite gesehen, dar.

Fig. 195.



Beim Zitterrochen liegen diese Säulchen, deren derselbe 400—500 besitzt, in Brust und Bauch, und zwar mit ihrer Längenrichtung vom Rücken nach dem Bauche. (In unserer Abbildung ist der eine Theil des Rückens geöffnet dargestellt, so daß man die Säulchen von oben sieht). Bei dem Zitteraal liegen sie im Schwanze, dessen Länge mehr als $^4/_5$ der ganzen Körperlänge beträgt, und zwar in gleicher Richtung mit diesem.

Verbindet man beim Zitterrochen Rücken und Bauch durch einen Draht, so zeigt derselbe einen vom Rücken nach dem Bauche gehenden electrischen Strom, der alle Wirkungen electrischer Ströme hervorbringt. Beim Zitteraale geht der Strom in der Richtung vom Kopfe nach dem Schwanze.

Electrische Ströme in Thierkörpern.

Auch in andern thierischen Körpern finden sich electrische Ströme. So hat Nobili gefunden, daß, wenn man den Kopf und die Füße eines lebenden oder frisch getödteten Frosches mit den Drahtenden eines empfindlichen Multiplicators verbindet, dieser einen vom Kopfe nach den Füßen gehenden Strom anzeigt. Ebenso zeigt sich ein Strom, wenn man in einen Muskel irgend eines Thieres einschneidet und den äußern Muskel mit der Schnittfläche verbindet.



Druck von Graß, Barth und Comp. (W. Friedrich) in Breslau.

